

**SCUBAPRO** DEEP DOWN YOU WANT THE BEST



LA PLONGEE EST PLUS SURE ET  
MEILLEURE, AVEC LA MESURE  
DE LA FREQUENCE CARDIAQUE

## TABLE DES MATIERES

- 03 - Mesure de la fréquence cardiaque pendant la plongée
- 04 - Comment la fréquence cardiaque est-elle mesurée ?
- 05 - Fréquence cardiaque au repos - comment est-elle influencée ?
- 06 - Débit cardiaque, pression artérielle et charge de travail
- 09 - Influence de la position du corps sur la fréquence cardiaque
- 10 - Changement de la fréquence cardiaque à travers la respiration
- 11 - Fréquence cardiaque en apnée
- 12 - Equilibre des fluides et fréquence cardiaque
- 13 - Pulsations cardiaques - chaleur et froid
- 14 - Pourquoi l'excitation accélère-t-elle le cœur ?
- 14 - Indicateur d'entraînement de la fréquence cardiaque
- 15 - Mise en forme et conseils d'entraînement
- 18 - Glossaire



## INTRODUCTION

## MESURE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE PENDANT LA PLONGEE

La fréquence cardiaque est un indicateur important de l'augmentation de l'activité. Cela est connu depuis longtemps. L'industrie du sport a réagi et elle offre un éventail de produits pour les athlètes ambitieux qui peuvent analyser et évaluer leur entraînement. Que vous soyez un athlète passionné pratiquant en loisir, un coureur de marathon professionnel ou simplement que vous vous préoccupez de votre santé - aujourd'hui le cardio-fréquencemètre est presque un équipement standard. Alors pourquoi ne pas aussi utiliser cette technologie en plongée ? A l'aide d'un moniteur de fréquence cardiaque vous pouvez mesurer les pulsations cardiaques même sous l'eau, et pouvez ainsi rendre vos plongées encore plus sûres. En surveillant la fréquence cardiaque, l'effort peut être mieux évalué et le plongeur peut réagir à temps à une élévation de son activité physique. De plus, en mesurant la fréquence cardiaque, vous pouvez vous entraîner à améliorer votre endurance.

Cependant, plusieurs facteurs doivent être considérés lors de l'utilisation de la fréquence cardiaque au cours de la plongée. Ce livret vous aidera à mieux comprendre le contexte et donc tirer les conclusions correctes des comportements de fréquence cardiaque mesurés. Ainsi, vous serez capable d'utiliser de manière optimale cette technologie innovante, intégrée dans la plupart des ordinateurs SCUBAPRO.

Pour que ce livret sur la condition physique soit facile et rapide à utiliser, et pour rendre son contenu aussi facile à comprendre que possible, la table des matières est composée des questions fréquentes en ce qui concerne la fréquence cardiaque, la condition physique et la plongée. Ainsi, un plongeur intéressé doit seulement jeter un œil à la table des matières afin de trouver le chapitre qui contient la réponse à sa question.

Etant donné qu'un exercice physique intensif pendant la plongée en eaux profondes augmente la circulation, et que cela augmente à son tour l'absorption d'azote, la fréquence cardiaque peut également être utilisée pour calculer les durées de décompression encore plus précisément et rendre la plongée encore plus sûre. C'est pour cela que les ordinateurs SCUBAPRO n'indiquent pas simplement la profondeur, les temps de plongée sans décompression et le schéma de décompression, mais informent aussi en continu l'athlète sous-marin de sa propre fréquence cardiaque, et donc de son activité physique personnelle, qui est à son tour utilisée pour le calcul des autres paramètres de plongée.

Ecoutez votre cœur !  
 Ecrit par :  
 Dr. Uwe Hoffmann  
 Dr. Tobias Dräger et  
 Jörn Kießler (éditeur)



**SCUBAPRO**

## COMMENT LA FREQUENCE CARDIAQUE EST-ELLE MESUREE ?

Il existe de nombreuses façons de mesurer la fréquence cardiaque. En tant qu'amateur, vous pouvez ressentir la fréquence cardiaque sur l'artère de l'avant-bras ou la carotide, par exemple, et compter pour une durée déterminée, généralement de 15 secondes. Vous pouvez également entendre les pulsations cardiaques quand vous placez votre oreille sur la poitrine d'une autre personne. Dans la pratique médicale, la fréquence cardiaque est généralement capturée par un électrocardiogramme (ECG). Chaque pulsation cardiaque produit un signal électrique mesurable. En utilisant au moins deux électrodes, une sur chaque côté du cœur, ce signal peut être mesuré depuis l'extérieur du corps.

De nombreux moniteurs de la fréquence cardiaque utilisés dans les activités sportives appliquent cette technique et intègrent ces électrodes dans des sangles de poitrine. Les appareils électroniques dans la sangle de poitrine recherchent l'impulsion électrique produite par chaque pulsation cardiaque. L'impulsion enregistrée est transmise sous forme de signal au récepteur, par exemple un moniteur de fréquence cardiaque, puis elle est analysée. Pour cette application, il est essentiel que les deux électrodes restent en contact avec la poitrine en permanence.

### PENDANT LA PLONGEE

Ce sont précisément les principes de mesure également utilisés par les ordinateurs SCUBAPRO. Avec une sangle de poitrine étanche dotée de deux électrodes, l'impulsion électrique des pulsations cardiaques peut également être capturée sous l'eau.

Cependant, les données ne sont pas envoyées vers un simple moniteur de

fréquence cardiaque mais vers l'ordinateur de plongée. Et l'ordinateur fait exactement ce qu'un moniteur de fréquence cardiaque réalise, par exemple, pendant qu'un utilisateur fait un jogging : il montre la fréquence cardiaque d'un plongeur à un moment donné. Bien sûr, il enregistre également les données, afin qu'après la plongée il soit possible de reconstituer exactement à quel point la charge de travail a été particulièrement élevée ou basse. Une caractéristique spéciale des ordinateurs SCUBAPRO contre laquelle aucun moniteur de fréquence cardiaque normal ou ordinateur de plongée traditionnel ne peut lutter, est que la fréquence cardiaque du plongeur est factorisée dans le calcul des phases sans palier, de décompression et de remontée. Au lieu de compter sur un seul algorithme, les données personnelles courantes sont utilisées.

A cet effet, les ordinateurs SCUBAPRO affichent la fréquence cardiaque moyenne sur une durée déterminée, par exemple toutes les quatre secondes. En utilisant cette technique, il est possible de capturer la fréquence cardiaque au repos et pendant l'exercice physique facilement et sans gêne pour la personne concernée.



► **Mesure de la fréquence cardiaque sous l'eau en utilisant la sangle de poitrine**

## FREQUENCE CARDIAQUE AU REPOS - COMMENT EST-ELLE INFLUENCEE ?

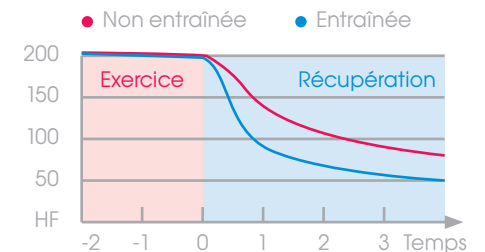
Qu'est exactement la fréquence cardiaque au repos et comment est-elle influencée ? La fréquence cardiaque au repos est la fréquence cardiaque d'une personne quand elle n'effectue pas d'exercice. Pour la déterminer de façon fiable, la fréquence cardiaque au repos devrait toujours être mesurée dans des conditions comparables. Les facteurs importants sont la temporisation, elle est généralement déterminée le matin, cinq minutes après le réveil, et la position du corps. Idéalement, la personne devrait rester allongée au lit pendant la mesure. Les résultats les plus fiables sont obtenus par un moniteur de fréquence cardiaque dans ce cas également. Si aucun n'est disponible, vous pouvez également compter les pulsations cardiaques pendant 20 secondes puis extrapoler cette valeur sur une minute, c'est-à-dire multiplier le nombre par trois. Cependant, si vous comptez la fréquence cardiaque vous-même, vous devez garder à l'esprit que le comptage influence la fréquence cardiaque. Il est important que la méthode de mesure soit toujours la même.

D'une part, la fréquence cardiaque mesurée au repos vous donne une valeur pour vous comparer facilement à d'autres. Cependant, le rôle de la fréquence cardiaque au repos comme un indicateur pour la charge de travail totale est beaucoup plus important. Pour un exercice à la fois sous l'eau et à la surface, la fréquence cardiaque au repos sert de point de référence afin d'évaluer et de classer une activité physique importante.

Bien sûr, tout le monde n'a pas la même fréquence cardiaque, car nous sommes tous différents. Et ce sont précisément ces différences qui influencent les fréquences cardiaques respectives. Par exemple, l'âge, la taille (pas simplement la position du corps) et la taille du cœur sont juste trois caractéristiques qui expliquent les différences entre les valeurs de différents individus. Par exemple, les exercices passés la veille, le régime alimentaire, la

consommation de liquides, l'heure du jour, les conditions ambiantes (température, humidité, altitude), et la position du corps sont tous des facteurs qui influencent la fréquence cardiaque. Mais les changements brusques ont également un impact sur la fréquence cardiaque au repos. Par exemple, la respiration joue toujours un rôle en ce qui concerne le niveau de la fréquence cardiaque au repos. Elle influence la fréquence cardiaque par son impact sur l'approvisionnement en sang et le drainage vers et à partir du cœur.

Entre autres choses, une fréquence respiratoire élevée, due à l'excitation par exemple, augmente également la fréquence cardiaque. Après un exercice, la fréquence cardiaque d'une personne entraînée revient à son niveau de base plus rapidement que la fréquence cardiaque d'une personne non entraînée.



► **Retour à la fréquence cardiaque de base selon l'entraînement**

### PENDANT LA PLONGEE

La fréquence cardiaque au repos indique la «limite la plus basse» qu'un plongeur peut atteindre. Il est certain qu'aucune plongée ne commence à la «véritable» fréquence cardiaque au repos, étant donné que le seul fait de s'équiper est souvent suffisamment difficile pour l'accélérer.

En combinaison avec la fréquence cardiaque maximale, vous pouvez au moins définir la plage dans laquelle la fréquence cardiaque fluctue. Ainsi, un regard sur un ordinateur SCUBAPRO vous indique à quel niveau votre exercice se situe, selon des critères totalement objectifs. Cependant, n'oubliez pas, en particulier dans l'eau, qu'il est concevable qu'une fréquence cardiaque inférieure à la fréquence cardiaque réelle

au repos puisse survenir temporairement. Pourquoi ? Simplement parce que les variables environnementales de base changent et affectent le corps quand vous plongez dans l'eau. La somme des effets décrits ci-dessous ralentit la fréquence cardiaque sous l'eau.

Ce ralentissement doit être considéré pour l'interprétation des changements de la fréquence cardiaque.

## DEBIT CARDIAQUE, PRESSION ARTERIELLE ET CHARGE DE TRAVAIL

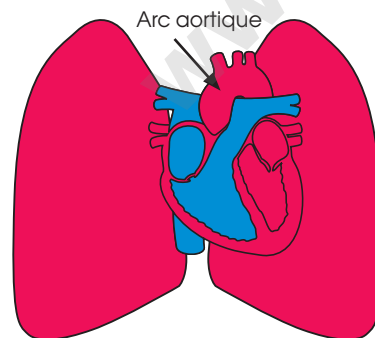
Le cœur est situé entre les deux poumons et fonctionne comme une pompe volumétrique : Le sang est commandé par la valve et aspiré à travers la veine cave supérieure et inférieure par le côté droit du cœur, chargé d'oxygène frais dans le poumon, et évacué de nouveau à travers l'artère aorte par le côté gauche du cœur.

Pour le corps, la fréquence cardiaque est réellement un facteur secondaire. Aucun endroit pour le corps ne permet de capter directement la fréquence cardiaque. A l'instar d'une pédale d'accélérateur dans une voiture, la fréquence cardiaque optimale à un moment donné est déterminée par d'autres facteurs. Par exemple, vous ne pouvez jamais conduire à pleine vitesse lors des heures de pointe dans la ville. Et un conducteur ne se traînerait jamais sur une autoroute vide à 30 km/h. Par conséquent, tout comme les conditions de circulation déterminent la vitesse d'une voiture, l'alimentation des tissus, en particulier en oxygène, est primordiale pour l'organisme. Si le tissu utilise beaucoup d'oxygène, le cœur accélère pour pomper une certaine quantité de sang par unité de temps à travers le tissu. Par conséquent, le facteur critique est le débit cardiaque, c'est-à-dire la quantité de sang pompée à travers

le corps en une minute, par exemple.

Un second facteur est la distribution du sang dans le corps. Cela est mesuré par la pression artérielle, qui peut être déterminée par l'organisme selon l'importance de l'extension des vaisseaux.

La façon dont le système fonctionne ne peut pas être plus simple. Dès qu'il y a des signes de circulation insuffisante, des mécanismes de compensation sont mis en action. Le corps réagit au manque imminent.



► Schéma : Système cardiopulmonaire

Une « situation d'urgence » est communiquée au corps par des capteurs et le système nerveux central. En particulier, les informations provenant des organes centraux, tels que le cerveau, sont traitées. Deux mécanismes de compensation sont possibles :

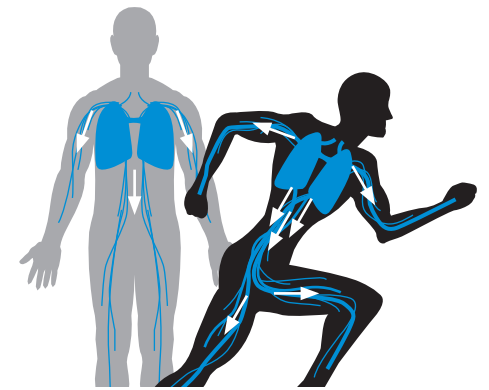
- Localement, une meilleure circulation peut être obtenue en ouvrant les vaisseaux artériels, c'est-à-dire que le corps fournit le sang avec des canaux d'approvisionnement aussi grands que possible. En utilisant de nouveau la métaphore de la voiture : le corps dégage l'autoroute pour le sang. Ainsi il peut parvenir rapidement dans les zones sous-alimentées.
- Centralement, le débit cardiaque peut être augmenté par une hausse du débit systolique et/ou de la fréquence cardiaque : le corps accélère.

Une mesure spéciale pour l'interaction entre la circulation les vaisseaux artériels et le débit cardiaque est la pression artérielle. Elle détermine la vitesse d'écoulement du sang et par conséquent la rapidité à laquelle les substances sont transportées. Si les vaisseaux artériels sont dilatés et offrent une résistance inférieure à l'écoulement, le débit cardiaque doit être augmenté pour maintenir la pression artérielle, et donc la fréquence cardiaque augmente.

Si la pression artérielle est élevée, c'est-à-dire si les vaisseaux sont restreints, c'est le contraire. Dans ce cas, la fréquence cardiaque est abaissée. En gardant ces faits à l'esprit, il est intéressant de regarder plus précisément comment le système cardiovasculaire réagit à une activité musculaire accrue. Car ici, un cas particulier entre en vigueur.

### ACTIVITE MUSCULAIRE

Quand les muscles sont fléchis, ils appuient sur les vaisseaux à proximité, ce qui augmente la résistance du vaisseau. Cela doit entraîner une hausse excessive de la pression artérielle, donc la fréquence cardiaque doit effectivement ralentir



► Si la charge de travail est élevée, davantage d'oxygène doit être transporté vers les muscles, et les vaisseaux sont donc dilatés

en conséquence. Cependant, le contraire survient, étant donné que l'activité physique déclenche des processus complexes dans le cerveau, qui entraînent des changements de la pression artérielle. Le processus métabolique causé par la contraction, les métabolites produits et l'impact accru du système nerveux sympathique entraînent d'autres changements qui font augmenter la fréquence cardiaque. Car lorsque le niveau de performance augmente, les muscles actifs doivent être alimentés avec davantage de sang. Les nutriments et en particulier l'oxygène, doivent être fournis en plus grandes quantités, et les métabolites, en particulier l'acide lactique et le dioxyde de carbone, ainsi que la chaleur, doivent être évacués. Cela nécessite un débit cardiaque accru.

Quand le débit systolique (soit la quantité de sang pompée à travers le cœur par les pulsations cardiaques) limite la capacité d'augmentation du débit cardiaque, le besoin accru est principalement obtenu grâce à la fréquence cardiaque. La règle générale est : la fréquence cardiaque augmente proportionnellement au métabolisme.

Utilisons de nouveau la métaphore de la voiture. Dans une voiture (sang), certains passagers (oxygène et métabolites) doivent être rapidement transportés vers l'endroit requis (muscles). Etant donné que la voiture peut seulement être agrandie dans une mesure limitée (débit systolique limité) et par conséquent peut seulement accepter un nombre de passagers limité, le pilote (cœur) doit conduire plus souvent et par conséquent, il accélère (fréquence cardiaque). La responsabilité de la réaction à ces changements, qui ne peuvent pas être seulement causés par un exercice temporaire intensif, mais également par un changement de position, incombe à des récepteurs d'extension spéciaux sur l'arc aortique et à la bifurcation de l'artère carotide. Ils fournissent les informations nécessaires qui sont traitées par le système nerveux central pour adapter rapidement la pression artérielle à la nouvelle situation. Cependant, il est également crucial de savoir s'il s'agit de travail statique effectué sur une période prolongée, ou de travail dynamique permettant un approvisionnement continu en sang pour les muscles. Ce type d'activité musculaire survient avec tous les types de locomotion, et donc avec la nage avec palmes également. Ici, le niveau de performance est le facteur décisif pour la fixation de la fréquence cardiaque : si une personne nage plus vite, ou doit lutter contre des courants forts, elle a besoin de davantage d'oxygène dans les muscles utilisés qu'une personne qui nage calmement en planant sur un récif corallien avec un coup de palme occasionnel.

Ce besoin accru d'oxygène ne signifie pas que la fréquence respiratoire doit être accrue immédiatement pour augmenter la prise d'oxygène, mais plutôt que davantage d'oxygène doit être transporté vers les muscles utilisés.

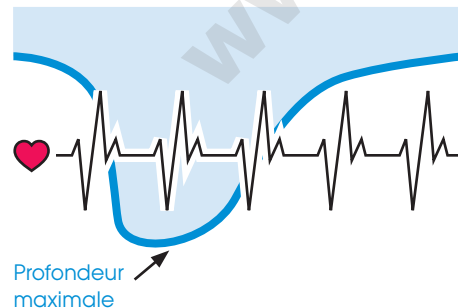
### PENDANT LA PLONGEE

Dans les deux pages précédentes, nous avons présenté les moyens utilisés par le corps pour

s'adapter à certaines situations. Bien sûr, ces mécanismes sont également efficaces en plongée, à la fois avant la plongée et ensuite sous l'eau. Le transport et le port d'équipement lourd est généralement déjà le premier effort physique, qui fait travailler non seulement les muscles, mais également le système cardiovasculaire.

L'effort est encore plus important quand vous êtes dans l'eau avec l'équipement, ce qui génère une forte traînée dans l'eau (beaucoup plus forte que la résistance dans l'air pendant un jogging ou une balade à vélo) et que vous vous déplacez en palmant, vos muscles et votre cœur étant sollicités.

Evidemment, plus vous nagez vite, plus l'effort physique est important. Mais cette relation dépend également fortement de l'équipement de plongée porté et du mouvement technique utilisé. Un plongeur qui a une technique de palmage fine et économique doit beaucoup moins forcer pour atteindre la même vitesse qu'un nageur moins entraîné. Cependant, dans ce contexte, la fréquence cardiaque ne peut pas être utilisée comme un indicateur pour la valeur métabolique absolue. La fréquence cardiaque est un outil utile pour mesurer et démontrer les changements de la condition physique d'un individu, mais ce n'est ni le meilleur, ni le seul.



► La fréquence cardiaque est indépendante de la profondeur

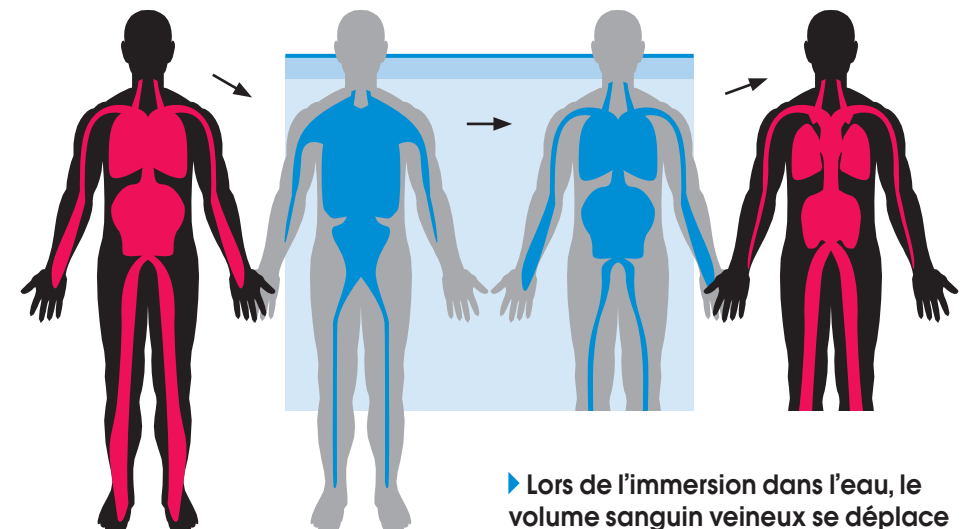
## INFLUENCE DE LA POSITION DU CORPS SUR LA FREQUENCE CARDIAQUE

La position du corps influence également les pulsations cardiaques. En particulier, elle détermine le retour veineux vers le cœur : dans une position horizontale, par exemple, quand le corps est plus ou moins à l'horizontale, davantage de sang peut s'écouler vers le cœur. Pourquoi ? La réponse est très simple : en position debout, le sang se déplace vers les extrémités inférieures. Le sang doit s'écouler contre le gradient de pression hydrostatique, c'est-à-dire pratiquement contre la force de gravité, en retour vers le cœur. Mais si vous êtes allongé et déplacez donc vos jambes, avec le torse et la tête au même niveau, le volume sanguin se déplace : le sang des jambes va vers le cœur, moyennant quoi initialement le débit systolique augmente et la fréquence cardiaque diminue. Cela résulte de l'approvisionnement accru en sang dans la chambre droite du cœur (ventricule, atrium), que le corps interprète

comme un signal pour un équilibre des fluides supérieur, étant donné que c'est exactement ce qui survient également quand vous buvez beaucoup et que le volume sanguin augmente en conséquence. Dans les deux cas, un autre mécanisme de compensation prend effet : plus d'urine est produite. Cette production accrue d'urine et la réduction résultante du volume sanguin se compensent dans le temps pour au moins une partie de cet effet. Quand vous vous mettez debout, la situation opposée exacte survient : le débit systolique diminue et la fréquence cardiaque augmente. Le volume sanguin est de nouveau accru à travers l'alimentation de liquide.

### PENDANT LA PLONGEE

Comme cela est décrit ci-dessus, cet effet découle de l'influence de la gravité sur le corps. Si le corps se déplace en position horizontale,



► Lors de l'immersion dans l'eau, le volume sanguin veineux se déplace

il neutralise la gravitation dans une certaine mesure.

Et exactement la même chose survient quand le corps est immergé dans l'eau jusqu'au cou, étant donné que la pression de l'eau neutralise le gradient de pression efficace en dehors de l'eau.

Lors de l'immersion dans l'eau, le volume sanguin veineux se déplace : En dehors de l'eau (à gauche en rouge), une grande partie du volume se trouve dans les veines des jambes.

Après l'immersion (à droite en bleu), le volume se déplace vers la poitrine/cœur. Cela affecte le débit cardiaque et entraîne une production accrue d'urine. Donc, le volume sanguin est significativement réduit après la plongée. Cependant, comme cela est déjà expliqué dans le chapitre précédent, la position dans l'eau affecte également la fréquence cardiaque, non pas parce que le sang se déplace, mais parce que la position dans l'eau affecte la respiration (voir figure en page 9).

## CHANGEMENT DE LA FREQUENCE CARDIAQUE À TRAVERS LA RESPIRATION

Précédemment, nous avons expliqué comment l'exercice physique et la position du corps affectent la fréquence cardiaque. Mais d'autres facteurs influencent également les pulsations cardiaques. L'un d'eux est la respiration. Bien sûr, la respiration d'une personne, et en particulier le volume respiratoire, est souvent impacté par l'exercice physique. Quand les muscles et les tissus nécessitent beaucoup d'oxygène, les vaisseaux sont dilatés et le cœur pompe rapidement, la quantité nécessaire d'oxygène devant passer dans le système par les poumons, c'est-à-dire à travers la respiration. La fréquence respiratoire et le volume respiratoire augmentent. Vous inhalez plus d'air dans les poumons, plus souvent. Mais même quand vous ne respirez pas comme un dauphin, les fonctions cardiaque et pulmonaire sont étroitement interconnectées. Cela est dû à la constitution du corps humain : c'est-à-dire que le cœur est situé entre les deux poumons (voir figure en page 6). Par conséquent, toute pression négative ou positive dans les poumons affecte également l'activité du cœur.

Pendant l'inhalation, le poumon développe une pression négative, qui entraîne l'aspiration de l'air à travers le pharynx. Cette pression

► **Le système cardiopulmonaire se déplace selon la position du corps**



négative offre un meilleur retour veineux, mais simultanément également un léger déclin de la pression artérielle.

Pendant l'exhalation, c'est exactement le contraire. En particulier, pendant l'exhalation en exercice, par exemple pendant l'égalisation de la pression grâce au Valsalva, le retour veineux est empêché, mais la pression artérielle est accrue, au moins temporairement. Pour ces deux fluctuations de la pression artérielle, le corps a également un mécanisme de compensation : la soi-disant régulation autonome. Elle limite l'augmentation ou la baisse de la pression artérielle à travers des réactions correspondantes de la fréquence cardiaque. En conséquence, des fluctuations plus ou moins distinctes de la fréquence cardiaque surviennent, en particulier au repos.

### PENDANT LA PLONGEE

La pression de l'eau qui impacte le corps immergé occasionne une plus grande différence de pression entre la partie

remplie de gaz et la partie remplie de liquide du poumon, car au contraire de la partie remplie de liquide, la partie remplie de gaz peut être comprimée, c'est-à-dire pressée. La règle est : en position verticale, la différence est supérieure à la position horizontale. Par conséquent, si vous flottez sous l'eau en position verticale, par exemple pendant une courte pause afin de regarder quelque chose de plus près sur une pente raide, les fluctuations de la pression artérielle dans le corps sont plus extrêmes aussi. Mais cet effet peut également survenir en nageant en position horizontale, c'est-à-dire pendant le snorkeling. Un tuba peut également augmenter la différence de pression. Il impacte directement également le retour vers le cœur et par conséquent, il influence l'activité du cœur et la fréquence cardiaque.

## FREQUENCE CARDIAQUE EN APNEE

Par conséquent, la respiration influence la fréquence cardiaque. Mais qu'arrive-t-il quand vous ne respirez pas ? En particulier pendant la plongée ? Bien sûr, vous pouvez également retenir votre respiration hors de l'eau, mais pendant une plongée cela peut être absolument nécessaire, par exemple pendant la respiration de votre binôme. Et il existe différents «niveaux» de retenue de votre respiration, le réflexe de plongée et la plongée intentionnelle sans bouteille d'air comprimé, en utilisant simplement l'air dans vos poumons.

### LE REFLEXE DE PLONGEE

Le réflexe de plongée est un réflexe naturel permettant aux mammifères de rester sous l'eau pendant des durées prolongées. Cela est particulièrement prononcé chez les animaux

aquatiques, mais également détectable chez les êtres humains. Le signal de déclenchement est un stimulus de froid sur le visage, et donc l'eau également, qui est conçu pour permettre la survie. Ce stimulus de froid, qui peut être déclenché par exemple par le contact d'un bloc de glace sur le visage, déclenche également une réaction facilement mesurable au repos : la fréquence cardiaque ralentit (bradycardie).

Cela est dû aux récepteurs autour du nez, des yeux et de la bouche. Le ralentissement de la fréquence cardiaque peut atteindre plus de 10 pulsations cardiaques par minute chez l'être humain, et chez les animaux un ralentissement de plus de 50% a été observé.

Cette bradycardie est accompagnée par d'autres réactions utilisées par le corps pour s'adapter à la nouvelle situation. Les vaisseaux sanguins dans les tissus, qui peuvent fonctionner

sans oxygène pendant une brève durée, se resserrent (vasoconstriction).

Ainsi, l'oxygène est conservé pour les organes vitaux (par exemple le système nerveux central ou le cœur) et simultanément une hausse de la pression artérielle est empêchée. Plus la vasoconstriction est prononcée, plus le ralentissement de la fréquence cardiaque est important. Cela signifie pratiquement que le réflexe de plongée occasionne la réaction contraire exacte de celle de l'exercice physique. Alors que le corps augmente la fréquence cardiaque pendant l'exercice afin de pouvoir alimenter tous les tissus, et dilate par conséquent les vaisseaux afin que la pression artérielle ne dépasse pas les limites, en apnée tous les systèmes sont tournés vers la conservation.

## PLONGEE EN APNEE

Pendant la plongée en apnée, les mêmes effets sont observés, étant donné que le visage entre en contact avec l'eau dans ce cas également. Cependant, en dehors des réactions susmentionnées, des mécanismes supplémentaires de compensation du corps entrent en vigueur, certains ayant déjà été

décrits. Par exemple, le volume sanguin se déplace également vers le cœur lors de la plongée sans bouteille d'air comprimé (voir «Influence de la position du corps sur la fréquence cardiaque»). Pendant la plongée en apnée, cet effet est encore plus prononcé, étant donné que les poumons remplis d'air sont davantage comprimés, et d'autant plus que le plongeur descend dans l'eau, ce qui laisse plus de place pour que le sang s'écoule dans la poitrine.

Cependant, cela n'a pas d'impact supplémentaire sur la fréquence cardiaque, étant donné que ce changement du volume sanguin empêche l'accumulation de pression négative dans la poitrine et donc un barotraumatisme des poumons. Mais un autre facteur (qui n'a pas été mentionné ci-dessus et qui existe seulement pendant la plongée en apnée) ralentit encore la fréquence cardiaque : L'accroissement du rapport de dioxyde de carbone. Plus un plongeur en apnée reste sous l'eau, plus le rapport de CO<sub>2</sub> dans son sang est élevé. Cela occasionne un ralentissement supplémentaire de la fréquence cardiaque. L'exercice physique pendant l'apnée, comme l'apnée dynamique, intensifie encore cet effet.

## EQUILIBRE DES FLUIDES ET FREQUENCE CARDIAQUE

La question sur la façon dont l'équilibre des fluides impacte la fréquence cardiaque peut trouver facilement une réponse en appliquant ce que nous avons appris dans le chapitre cinq. Cela est dû au fait qu'une perte importante de liquide ou une prise excessive de liquide a le même effet qu'un changement de position du corps ou de sortie ou d'entrée dans l'eau, mais pour des raisons différentes (voir figure en page 9). Si le corps est alimenté avec un liquide par la boisson, la quantité de sang disponible vers le cœur change également :

le débit systolique augmente et la fréquence cardiaque ralentit. Dans le cas opposé, c'est-à-dire un liquide insuffisant, l'effet est le même que lorsque l'on prend une position verticale ou que l'on sort de l'eau : le débit systolique diminue, et la fréquence cardiaque accélère.

## PENDANT LA PLONGEE

En ce qui concerne l'équilibre des fluides, une particularité doit également être soulignée. Pendant des vacances de plongée en

particulier, plusieurs facteurs sont combinés, qui peuvent avoir un impact marqué sur la fréquence cardiaque. Ainsi que cela est décrit précédemment, pendant la plongée, le volume sanguin se déplace vers le cœur. Cela indique au corps qu'un excédent de liquide est présent, et le corps commence à produire de l'urine afin de libérer le liquide (diurèse du plongeur). Après la plongée, le volume sanguin ne revient pas seulement vers les extrémités inférieures et loin du cœur (voir graphique en page 9), mais deux facteurs supplémentaires entrent en jeu : un équilibre réduit des fluides et une forte chaleur. Dans de nombreuses destinations de plongée populaires, telles qu'en Méditerranée, en

Mer Rouge et dans l'Océan Indien, les températures sont très élevées. Ici, une prise appropriée de liquide après la plongée est essentielle, étant donné que le volume sanguin baisse autrement si sévèrement que même une fréquence cardiaque accrue ne peut pas empêcher une sous-alimentation des tissus. Un collapsus circulatoire peut survenir. Et un autre risque spécifique au plongeur augmente également : être victime d'un accident de décompression pendant la plongée. Étant donné qu'un volume sanguin inférieur épaissit le sang, la viscosité augmente et donc le risque que les bulles d'azote ne se dissolvent pas dans le sang et par conséquent causent une embolie.

## RYTHME CARDIAQUE - CHALEUR ET FROID

Quand la température ambiante change, le corps présente une réaction similaire à celle lorsque le liquide est alimenté ou évacué. Si vous passez à l'extérieur sur un balcon en plein hiver en portant simplement un t-shirt, tôt ou tard vous ressentirez le froid. Le corps combat la perte de température en resserrant les vaisseaux à la surface du corps, c'est-à-dire là où la chaleur s'échappe. La constriction entraîne l'augmentation de la pression sur les parois vasculaires, et le système cardiovasculaire réagit comme il le fait avec un excédent de liquide : la fréquence cardiaque ralentit. Ensuite, quand le corps essaie de stabiliser sa température en produisant sa propre chaleur par un métabolisme accru, la fréquence cardiaque remonte. Ultrieurement, l'exposition continue au froid occasionne d'autres ajustements, que nous n'aborderons pas ici.

La chaleur a exactement l'effet opposé. La fréquence cardiaque augmente, étant donné que les vaisseaux à la surface du corps sont dilatés. En conséquence, le volume sanguin se déplace vers ces tissus et

il est donc absent du retour veineux. En outre, le débit cardiaque et la pression artérielle doivent être accrus. Ensuite, des facteurs influents peuvent suivre, causés par la transpiration, c'est-à-dire la perte de liquide.

## PENDANT LA PLONGEE

Bien sûr, les mêmes effets que ceux survenant à la surface arrivent également sous l'eau. La seule différence est que sous l'eau vous sentez le froid beaucoup plus vite. Cela découle de la conductivité thermique supérieure de l'eau. Alors que l'air est un mauvais conducteur de chaleur, et a un effet presque isolant, l'eau «aspire» la chaleur de notre corps, de façon imagée. Alors que nous percevons une journée avec une température de l'air de 25°C comme agréable, sans protection au froid et au repos, le corps commence déjà à libérer de plus en plus de chaleur dans l'eau à des températures inférieures à 32°C. Le corps entre en hypothermie et essaie de le combattre en resserrant les vaisseaux proches de la surface du corps.

## POURQUOI L'EXCITATION ACCELERE LE COEUR ?

Enfin, nous voulons aborder un changement de la fréquence cardiaque qui, bien qu'il soit également entraîné par une influence externe, ne peut pas être expliqué par la température, la pression de l'eau ou les quantités de liquide : l'excitation émotionnelle.

Pendant l'évolution humaine, le corps a beaucoup appris, notamment le concept que l'excitation émotionnelle est généralement liée à un certain danger, qui requiert des performances supérieures, ou au moins la volonté de réagir physiquement. Par conséquent, les hormones d'effort causent un changement de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque. L'organisme est mis en

alerte. En ce sens, la fréquence cardiaque n'est plus une expression d'exercice physique, mais elle prépare le corps à des besoins accrus.

L'excitation émotionnelle diffère également d'une personne à une autre. Un instructeur de plongée qui a travaillé de nombreuses années dans l'Océan Indien sera moins excité quand il verra un requin baleine qu'un plongeur qui n'a jamais croisé l'un de ces géants.

Quelle que soit la raison pour laquelle vous êtes excité, parce que vous êtes pris dans un filet ou que vous venez d'apercevoir un requin tigre pour la première fois, il est important de tenir compte des émotions pour évaluer un changement de la fréquence cardiaque !

## INDICATEUR D'ENTRAÎNEMENT DE LA FREQUENCE CARDIAQUE

Comme cela a déjà été mentionné dans l'introduction, la fréquence cardiaque est un bon indicateur de l'effort grandissant. Et un simple regard sur l'ordinateur de plongée SCUBAPRO vous indique immédiatement la difficulté de l'exercice sous l'eau, selon des critères totalement objectifs. Bien sûr, d'autres paramètres peuvent également être utilisés pour évaluer l'intensité de l'effort, comme la vitesse de la nage ou de la course, mais ils ne peuvent pas illustrer l'exercice individuel de façon significative.

Voici un exemple : la fréquence cardiaque d'un sportif occasionnel s'effolerait vraisemblablement s'il parcourait son itinéraire habituel de jogging du dimanche sur 8 kilomètres en moins de 30 minutes. Pour un coureur professionnel de marathon, cependant, ces sessions d'entraînement font partie de

son programme d'entraînement normal, et sa fréquence cardiaque ne s'approchera même pas de la valeur maximale possible. Cet exemple montre l'importance de connaître vos propres limites individuelles de performance et de les utiliser pour vivre un entraînement d'endurance sérieux. Les limites personnelles peuvent être établies facilement et efficacement en utilisant les fréquences cardiaques maximale et au repos.

Cependant, en réalité, ces paramètres sont juste des valeurs auxiliaires, étant donné que ce qui importe pour le bon entraînement est le métabolisme musculaire ou, plus particulièrement, le rapport du métabolisme aérobie sur le métabolisme anaérobie. C'est-à-dire le métabolisme qui survient avec suffisamment d'oxygène et le métabolisme pour lequel un oxygène insuffisant est disponible. Mais étant donné que cela est seulement

mesurable en utilisant des équipements techniques élaborés, la fréquence cardiaque est le paramètre le plus facile pour évaluer l'intensité de l'effort. Et la fréquence cardiaque facilement déterminable au repos offre un avantage supplémentaire. Cela vous permet d'évaluer relativement facilement votre propre condition physique. Un point de référence est la fréquence cardiaque au repos, qui est d'environ 50 battements par minute pour une personne endurante et d'environ 75 battements par minute pour une personne non entraînée. Un autre point de référence est la fréquence cardiaque maximale, qui est considérée comme étant d'environ cinq fois la fréquence cardiaque au repos pour un sportif entraîné, alors qu'une personne non entraînée peut atteindre seulement trois fois la fréquence cardiaque au repos. La raison de cette différence est l'efficacité du «cœur de l'athlète» qui offre de meilleures performances de transport. Mais l'entraînement seul n'est pas important. Cela nous ramène à la connaissance de base susmentionnée : la fréquence cardiaque maximale est significativement limitée par l'âge d'un individu. Cela signifie que les plongeurs âgés, même s'ils sont bien entraînés, ne peuvent pas atteindre la même fréquence cardiaque maximale que les plongeurs âgés de vingt ans.

- Une simple règle générale a été établie pour les sports de masse : Fréquence cardiaque maximale moyenne :  $220 - \text{âge} = \text{battements par minute}$
- Exemple : un homme âgé de 75 ans a une fréquence cardiaque maximale moyenne de 145 battements par minute.  $220 - 75 \text{ ans} = 145$  battements par minute
- Selon cette règle générale, le cœur d'un individu âgé de 20 ans pourrait cependant battre 200 fois par minute sous un stress maximal.  $220 - 20 \text{ ans} = 200$  battements par minute.

Mais il est en fait beaucoup plus intéressant d'observer la fréquence cardiaque au repos décrite précédemment. La fréquence cardiaque diffère fortement d'une personne à une autre pour plusieurs raisons : le moment auquel la fréquence cardiaque au repos est atteinte de nouveau après un exercice doit être comparé subjectivement et objectivement. Après un exercice, une personne entraînée retrouve sa fréquence cardiaque au repos beaucoup plus rapidement qu'une personne non entraînée.

## MISE EN FORME ET CONSEILS D'ENTRAÎNEMENT

Sur la base de ce savoir, il est effectivement assez facile de concevoir un entraînement ciblé de mise en condition et d'endurance, étant donné que vous savez maintenant comment utiliser la fréquence cardiaque pour évaluer votre propre niveau d'effort et donc maintenir votre entraînement dans la plage d'intensité adaptée. Une autre règle générale existe, permettant

de calculer la fréquence cardiaque moyenne que vous devez maintenir pendant l'entraînement.

- Fréquence cardiaque d'entraînement :  $180 - \text{âge} = \text{battements par minute}$   
Si nous réutilisons notre sportif de 75 ans et son partenaire d'entraînement âgé de 20 ans comme exemple, nous pouvons leur

donner le conseil d'entraînement suivant :  
 180 - 75 ans = 105 battements par minute  
 Cela signifie que notre plongeur âgé devrait s'entraîner à une fréquence cardiaque moyenne de 105 battements par minute s'il désire améliorer son endurance.

- 180 - 20 = 160 battements par minute  
 Son partenaire âgé de 20 ans doit probablement forcer un peu plus pour atteindre une fréquence cardiaque moyenne de 160 battements par minute.

Mais quelques conseils de base s'appliquent à tous les deux, et ils doivent en tenir compte en utilisant la fréquence cardiaque pour contrôler leur entraînement :

- Les conditions ambiantes, en particulier la température, doivent rester les mêmes.
- La position du corps ne doit pas changer pendant l'exercice.
- Prendre un liquide à intervalles réguliers.
- Veiller à ce que la respiration soit régulière.
- Éviter de souffler pendant l'exercice !

En dépit de toutes les règles décrites ici, la fréquence cardiaque maximale, qui baisse avec l'âge, diffère toujours d'une personne à une autre. Par conséquent, elle devrait dans l'idéal être déterminée à travers un exercice physique. Quiconque peut le faire à l'aide d'un cardiofréquencemètre en s'exerçant de façon complète pendant un bref moment. Pour les débutants en particulier, il est recommandé qu'un médecin effectue un test d'ergométrie.

## PENDANT LA PLONGÉE

Comparer la fréquence cardiaque au repos avant la plongée à la fréquence cardiaque pendant la plongée aide à évaluer les efforts physiques et mentaux. Un plongeur débutant présentera certainement une différence beaucoup plus grande qu'un plongeur de niveau avancé. Cette

différence peut également être utilisée comme un indicateur de la condition physique du moment. Si un plongeur expérimenté détecte une différence supérieure à l'habitude, il doit analyser la cause sous-jacente, et ajuster sa plongée en conséquence (plongée moins profonde, moins d'effort avant la fin de la plongée). Un débutant peut suivre ses progrès sur les efforts physiques et mentaux, la différence devenant de plus en plus faible. Réaliser une analyse peu de temps après la plongée selon la fréquence cardiaque enregistrée aide à déterminer la cause de l'augmentation, qui peut être occasionnée par un effort physique (effort inhabituel dû aux courants, respiration du binôme, lestage excessif, plongée inhabituellement longue, ...) ou un effort mental (profondeur, lestage excessif, problèmes avec l'équipement ou avec le binôme, plaisir ou crainte lors de l'observation d'un grand poisson, ...). En reconnaissant les causes sous-jacentes, le plongeur peut cibler son entraînement pour progresser. Pour la plongée en apnée aussi, une analyse après la session aide à préparer un programme d'entraînement et à évaluer les progrès du plongeur. La fonction d'alarme pour une fréquence cardiaque insuffisante est un aspect de sécurité qui ne doit pas être sous-estimé.

SCUBAPRO s'efforce toujours de rendre vos plongées plus sûres grâce à des technologies innovantes. La mesure de votre fréquence cardiaque pendant la plongée est l'un des points remarquables dont nous sommes particulièrement fiers. En tous temps, nous suivons notre devise :

DEEP DOWN YOU  
WANT THE BEST



ACTUELLEMENT, SCUBAPRO PRÉSENTE LES SEULS ORDINATEURS DE PLONGÉE AU MONDE DOTÉS D'UNE MESURE DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE.

**Adiposité** - Obésité, embonpoint : prolifération excessive ou accumulation de tissus gras.

**Métabolisme d'énergie aérobie** - Processus d'alimentation d'énergie, qui surviennent seulement quand suffisamment d'oxygène est présent. (Consommation totale de graisse et de glucides dans le CO<sub>2</sub> et l'eau. Très efficace, permet plusieurs heures d'effort des niveaux d'intensité réduits à moyens.)

**Métabolisme d'énergie anaérobie** - Processus d'alimentation d'énergie, qui surviennent sans utiliser d'oxygène. (Consommation incomplète, par conséquent très inefficace, mais permettant des performances très élevées sur une durée brève. Consommation de glucides, produits lactés.)

**Système musculosquelettique actif** - Comprend l'ensemble du squelette, la musculature et les tendons et ligaments associés.

**Seuil anaérobie** - Intensité de l'effort à la transition entre une génération d'énergie purement aérobie et partiellement anaérobie. Marque l'intensité la plus élevée possible à laquelle la production de lactate et l'évacuation de lactate est équilibrée (stabilité maximale de lactate). Elle diffère d'une personne à une autre et n'est pas assujettie à une quelconque loi rigide, et doit donc être déterminée de nouveau régulièrement.

**Artériosclérose** - Changement artériel morbide le plus commun, caractérisé par un durcissement, un épaississement et une perte d'élasticité. A un état avancé, très dangereux. Les moyens de lutte comprennent un entraînement modéré à l'endurance et un régime alimentaire.

**Arthrose** - Maladie dégénérative des articulations qui se développe principalement à cause d'un déséquilibre entre l'effort et la condition ou les performances des articulations ou des tissus individuels. Un

exercice régulier personnalisé peut empêcher ou atténuer les problèmes d'arthrose.

**Pression artérielle** - La pression dans les vaisseaux sanguins et les chambres cardiaques qui permet la circulation sanguine et dépend du débit cardiaque et de la résistance vasculaire (par exemple l'élasticité de la paroi vasculaire).

**Indice de masse corporelle** - Abrégé IMC, calculé en divisant le poids du corps (mesuré en kg) par le carré de la taille du corps (mesurée en m). Indice pour évaluer le poids du corps.

**Entraînement cardio** - Fait référence à l'entraînement du système cardiovasculaire, principalement grâce à des sports d'endurance, également dans un club de sport ou de fitness.

**Cholestérol** - Généré à la fois par le corps même, et ingéré dans les aliments (principalement la graisse animale), c'est un composant important et essentiel de la production de nombreuses hormones. A des concentrations élevées (en permanence > 220 mg/dl), le cholestérol est considéré comme un facteur de risque pour les maladies cardiovasculaires, en tenant compte du rapport du «bon cholestérol» ou HDL (lipoprotéine de haute densité) sur la LDL (lipoprotéine de basse densité), cause principale des maladies vasculaires.

**Déshydratation** - Baisse de l'eau dans le corps causée par une augmentation de l'évacuation de l'eau (par exemple, transpiration excessive) sans reconstitution suffisante. Cela aggrave les caractéristiques d'écoulement du sang et réduit les performances. La déshydratation grave (également déshydrogénation) peut entraîner une défaillance circulatoire.

**Ergométrie** - Mesure des performances physiques avec un niveau d'effort contrôlé

en utilisant un ergomètre et en établissant divers paramètres de fonctionnement cardiovasculaire.

**Equilibre des fluides** - Fait référence à la prise d'eau, et aux processus de répartition de l'eau et d'évacuation de l'eau du corps humain.

**Glycogène** - Forme de sucre (polysaccharide) qui représente la forme stockée des glucides. Se trouve principalement dans le foie et les muscles. Dans le cas d'un effort intensif d'endurance avec une utilisation des glucides proche de 100%, les réserves stockées d'un athlète moyennement entraîné durent au maximum 60 à 90 minutes d'effort.

**Variabilité de la fréquence cardiaque** - Mesure du temps écoulé entre deux pulsations cardiaques consécutives en millisecondes. Selon l'étendue des changements temporels, des conclusions concernant l'entraînement individuel peuvent être tirées.

**Hypertension** - Pression artérielle élevée

**Maladie cardiaque coronarienne** - Résultat de troubles circulatoires dans les vaisseaux coronariens. Cause principale d'attaque cardiaque. Peut être influencée par des exercices et un entraînement d'endurance modéré.

**Lactate** - Sel d'acide lactique ; le lactate est le produit final de la glycolyse et il est généré quand le glucose n'est pas totalement consommé. C'est le cas quand un oxygène insuffisant est disponible pour la musculature pendant l'exercice physique. Par exemple, la concentration de lactate augmente significativement pendant une activité musculaire intensive (voir «métabolisme d'énergie anaérobie»).

**Prise maximale d'oxygène** - Quantité maximale d'oxygène que le corps peut absorber et transformer pendant un exercice.

**Métabolites** - Substances générées en phases intermédiaires ou produits de décomposition pendant les processus métaboliques dans le corps.

**Métabolisme** - Ensemble des processus métaboliques, de la composition, décomposition et transformation des nutriments.

**Mitochondrie** - Le «générateur» de la cellule. C'est là que la génération d'énergie aérobie du corps a lieu.

**Douleur musculaire** - Déchirures microscopiques dans les tissus musculaire causées par un effort excessif, qui occasionnent des inflammations et des douleurs. La douleur musculaire est un précurseur des tensions ou des fibres musculaires déchirées et doit par conséquent être considérée comme une blessure sportive. La régénération successive en mettant au repos le muscle affecté, des mesures stimulant l'écoulement du sang, un entraînement de récupération et la prise de liquides doivent entraîner une «récupération» totale.

**Quotient respiratoire** - Abrégé QR. Décrit le rapport entre le CO<sub>2</sub> expiré et l'O<sub>2</sub> inhalé. Le QR joue un rôle lors de la détermination de la quantité et du rapport de graisse et de glucides consommés.

**Spiroergométrie** - Mesure des performances physiques avec des niveaux d'effort contrôlés en utilisant un ergomètre et en établissant divers paramètres de fonctions cardiovasculaires et de respiration.

**Point de côté** - Les causes possibles comprennent une circulation réduite dans le diaphragme, un entraînement avec l'estomac plein, un effort excessif et une respiration irrégulière. Un débit sanguin accru dans le corps peut également causer des douleurs dans la rate et le foie.



## **Dr. Tobias Dräger**

A étudié la biologie, les sciences du sport, et l'économie du sport, et a obtenu un doctorat de la Deutsche Sporthochschule Köln (DSHS) en Physiologie de la Performance. Directeur du Développement Commercial du centre d'appel d'urgence pour plongeurs. Instructeur de plongée CMAS.



## **Dr. Uwe Hoffmann**

A étudié les mathématiques et les sciences du sport, et a obtenu un doctorat de la Deutsche Sporthochschule Köln (DSHS) en Physiologie de la Performance. Chercheur associé dans l'Institut pour la Physiologie et l'Anatomie et Directeur du Département des Sports de «Plongée de Loisirs» dans l'Ecole DSHS. Instructeur de plongée CMAS.



**SCUBAPRO®**

Nos revendeurs agréés seront heureux de vous apporter des conseils avisés. Vous pouvez trouver le revendeur le plus près de chez vous sur [scubapro.com](http://scubapro.com) ou utiliser notre application SCUBAPRO.