

L'HUMIDITE EN ANESTHESIE
IV: MESURE DE L'HUMIDITÉ ET DE LA TEMPÉRATURE
ALVÉOLAIRES, CHEZ LE CHIEN*

RAYNALD DÉRY, M.D., F.R.C.P.(C)†

LA MEMBRANE alvéolo-capillaire, partition où s'effectuent les échanges gazeux entre l'atmosphère et le sang, se situe au terme de multiples subdivisions dichotomiques d'un arbre respiratoire dont les embranchements vont en s'amenuisant. On a dénombré 23 subdivisions de l'arbre respiratoire, s'étageant de la trachée jusqu'à l'alvéole.¹ Ainsi camouflée en profondeur du thorax, la membrane alvéolaire, la plus fragile des frontières entre l'environnement et le milieu intérieur, semble à première vue bien protégée contre le traumatisme possible du refroidissement et de la déshydratation. Cependant, des études récentes ont suggéré que l'intégrité anatomique et physiologique du lobule respiratoire peut être menacée tant par des nébulisations sursaturées en eau,² que par une dessiccation extrême de l'air inspiré.³

Les études effectuées dans notre laboratoire d'anesthésie ont démontré qu'en cours d'anesthésie clinique, particulièrement si l'on fait usage du circuit demi-fermé incluant un filtre sodé de format géant, l'évolution de l'humidité et de la température dans les voies aériennes supérieures reproduit fidèlement celle qui prévaut chez l'homme non-anesthésié respirant par le nez.⁴⁻⁵ Nos résultats expérimentaux nous ont permis d'atteindre à une meilleure compréhension des mécanismes biophysiques mis en jeu dans l'homéostasie hydro-thermique de la muqueuse respiratoire. Nous avons perçu le dynamisme avec lequel évoluent le réchauffement et l'hydratation de l'air inspiré, ainsi que leurs adversaires logiques, le refroidissement et la déshydratation du mélange inspiré. Nous avons été agréablement surpris de retrouver dans ces mécanismes l'application de lois physiques fondamentales, qui prennent nettement le pas sur des processus physiologiques. L'inspiration d'un mélange gazeux déshydraté conduit à une plus grande évaporation d'eau à partir de la surface de la muqueuse; il s'ensuit un refroidissement de cette surface, en accord avec la loi des chaleurs latentes d'évaporation. Eventuellement, le mélange inspiré, initialement froid et déshydraté, se réchauffe et s'humidifie progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne le niveau physiologique de saturation à 37° centigrades. En cours d'expiration, la déperdition d'eau et de chaleur encourue par la surface muqueuse s'annule par une plus grande déposition du buée sur une surface relativement froide, et cette adsorption d'eau devient disponible pour humidifier idéalement l'inspiration suivante. C'est ainsi qu'après

*Ce travail a été partiellement présenté à la conférence Wesley Bourne Memorial, McGill University, Vendredi, le 29 mai 1970.

Nous avons reçu, pour l'élaboration de cette étude, la subvention No. MA 2968 du Conseil des Recherche Médicales.

†Du département d'Anesthésie et de Réanimation, Université Laval et Hôtel-Dieu de Québec.

quelques respirations, il survient un nouvel équilibre hydro-thermique dans l'arbre respiratoire haut. Il s'agit en réalité d'un système biophysique auto-compensé. Un tel mécanisme, on le conçoit, s'imposait pour permettre aux voies respiratoires de s'adapter rapidement à des environnements changeants.

Nous avons récemment mesuré l'évolution de l'humidité et de la température dans les voies aériennes de patients anesthésiés avec une méthode sans recyclage. Nous n'avons pas été surpris de constater, en accord avec les principes biophysiques impliqués, que les résultats d'humidité relative et de température rejoignaient ceux trouvés tant chez l'individu normal que chez le patient anesthésié en circuit demi-fermé. Ces résultats feront l'objet d'une publication ultérieure.⁶ Ils confirment, à notre satisfaction, les conclusions auxquelles nous étions arrivés antérieurement.

Malheureusement, en raison du calibre de l'instrumentation que nous utilisons dans ces études, il ne nous a jamais été possible d'obtenir des lectures d'humidité et de température dans les divisions périphériques de l'arbre respiratoire bas. Nous vivions sous la hantise que, dans des conditions extrêmes d'hyperventilation et de dessiccation du mélange inspiré, l'air puisse éventuellement atteindre la membrane alvéolaire à une température et à une humidité relative nettement inférieures à celles considérées comme idéales. Nous restions conscients, certes, que toute dessiccation ou tout refroidissement de la membrane alvéolaire pouvait entraîner des séquelles physiologiques et structurales délétères.⁷ Pour répondre à cette question, nous avons entrepris cette étude, où nous sommes parvenus, chez le chien, à mesurer l'humidité et la température directement dans la cavité alvéolaire.

MÉTHODE

Dix chiens, préalablement prémédiqués avec 15 mg de morphine et 0,4 mg d'atropine, ont été anesthésiés au thiopentone, intubés, et ventilés par la suite au moyen d'un respirateur Bird. Le mélange administré comprenait 50 pour cent d'oxygène et 50 pour cent de protoxyde d'azote; nous nous sommes assurés de la dessiccation complète de ce mélange en le circulant, au sortir des cylindres, dans un canister de CaCl_2 anhydre. L'administration de ces gaz anesthésiques s'est effectuée en méthode sans recyclage, par l'interposition d'une valve de Fink ou d'Ambu entre le tube endotrachéal et la tubulure d'admission des gaz. Nous avons entouré ces chiens, en cours d'anesthésie, d'un groupe valable de moniteurs physiologiques : un ventimètre de Wright, des canules artérielles et veineuses de pression, des électrodes rectales et oesophagiennes de température, et un électrocardiogramme. Ces données s'enregistraient sur physiographe à multiples canaux. Les gaz artériels, de même que les gaz inspirés et les gaz alvéolaires ont été échantillonnés à intervalles et passés dans le gazomètre 113 de la compagnie Instrumentation Laboratories.

Après thoracotomie, nous avons isolé un lobe pulmonaire en surface duquel nous avons créé, au moyen d'un thermocautère, une minuscule brèche alvéolaire, circulaire, d'une dimension moyenne de 3 millimètres. L'utilisation du cautère nous fut précieuse pour assurer l'hémostase parfaite de la fistule bronchiolo-alvéolaire ainsi produite. Autour de cette fistule, nous avons cousu une alvéole géante,

en fait un prophylactique de latex de format moyen. Pour éviter tout traumatisme du parenchyme pulmonaire par nos points de suture, nous avons choisi d'ajouter au col du prophylactique un anneau de caoutchouc, que nous avons par la suite fixé au pourtour du lobe pulmonaire par des points en matelas.

Ceci fait, nous avons inséré au bout distal de l'alvéole ainsi créée un thermistor à réponse rapide (Yellow Springs, No. 421-36), ainsi que le tube d'échantillonnage de notre hygromètre.⁸ L'alvéole artificielle, une fois son étanchéité assurée, se comporta exactement comme une alvéole vraie, se gonflant en inspiration, s'affaisant en expiration. A l'aide d'une seringue, nous avons mesuré qu'elle recevait environ 3 à 5 c.c. de chaque volume courant. Certes, il lui manquait la perfusion, mais là n'était pas notre optique. C'est avec une certaine nostalgie que nous l'avons enfouie dans la cavité thoracique, que nous avons refermée étanchement sur elle, tout en prenant soin de laisser en place un drain sous eau.

Nous ne reviendrons pas sur les techniques de prélèvement et de lecture de l'humidité relative que nous avons mises en œuvre par la suite; nous les avons décrites antérieurement. Qu'il nous suffise de dire qu'après une lecture de base en normoventilation, nous avons monté la ventilation pulmonaire par paliers de 20 minutes, jusqu'à obtenir des chiffres astronomiques d'hyperventilation.

RÉSULTATS

Les chiffres d'humidité relative obtenus avec ce montage expérimental donnent un résultat monotone de 100 pour cent, quel que soit le degré d'hyperventilation et de déshydratation avec lequel nous avons administré le mélange inspiré. Ces résultats sont illustrés dans le Tableau I.

La température de la cavité alvéolaire artificielle est également demeurée remarquablement stable, à toutes fins pratiques égale à la température corporelle. Nous avons cependant noté, chez quelques animaux soumis à ces expériences, une légère tendance à la déperdition thermique. La température rectale est parfois tombée de 0.5° c. en cours de première heure, d'un demi degré additionnel dans l'heure suivante, pour se stabiliser par la suite jusqu'à la fin de nos expériences, ces dernières n'ayant généralement pas dépassé trois heures. Cette fuite thermique peut être attribuée au refroidissement de l'arbre respiratoire haut, engagé dans des entreprises biophysiques d'évaporation et de recapture; nous croyons cependant plus volontiers qu'il nous faille l'attribuer à l'état poikilothermique inhérent à l'anesthésie générale.

DISCUSSION

Il est intéressant de noter comment, dans les conditions expérimentales décrites, des hyperventilations extravagantes avec un mélange gazeux anhydre n'ont eu aucune répercussion sur les conditions climatiques qui prévalent normalement dans les cavités alvéolaires.

Ce travail nous a fait prendre contact avec quelques avenues de recherche que nous sommes actuellement à visiter.

En premier lieu, elles nous ont permis de prélever directement de l'air alvéolaire. Une telle technique peut s'avérer utile dans l'exploration de la pharmaco-

logie du tonus bronchique et bronchiolaire; la quantité d'air qui perfuse notre alvéole artificielle est directement fonction du calibre des voies aériennes qui y conduisent, si nous stabilisons au préalable la pression et le volume du flot inspiré.

En second lieu, nous croyons avoir réussi une lecture directe de la température intra-alvéolaire. En autant que notre fouille bibliographique fut complète, il semble bien que jusqu'ici, les données thermiques se rapportant à l'alvéole nous soient parvenues par des méthodes indirectes, soit la mesure de la température dans les branches de division périphériques de la circulation pulmonaire, soit la mesure de la température œsophagienne, soit la mesure de la température des voies respiratoires relativement hautes ou relativement basses.⁹⁻¹⁷

Au surplus, cette étude nous a permis un contact direct avec une composante de l'espace mort anatomique, sise au niveau alvéolaire, et impliquant des alvéoles ventilées, mais non perfusées.

Enfin, cette recherche nous aura permis de donner une dimension à la capacité fonctionnelle de l'arbre respiratoire haut en regard de son mandat d'assurer un conditionnement climatique idéal à tout mélange aérien destiné à l'alvéole.

Si maintenant nous tentons d'intégrer nos résultats obtenus en cours d'études antérieures chez l'humain⁵ avec celles que nous avons été forcément contraints d'obtenir chez l'animal de laboratoire, nous arrivons à pouvoir partager l'arbre respiratoire en deux segments distincts, en ce qui concerne sa fonction hydrothermique. Tout d'abord, l'arbre respiratoire supérieur, du nez à la carène, où s'effectuent des échanges dynamiques en eau et en calories. Puis l'arbre respiratoire sous-jacent, où règne le confort d'un équilibre physiologique défini par une humidité relative à 100 pour cent à la température corporelle. Ces deux territoires peuvent être délimités par une frontière imaginaire que nous appelons le point de saturation isothermique (I.S.B.). Cette frontière entre le mouvement et le repos, entre une guerre physiologique et une paix stable, nous semble revêtir une importance capitale pour l'anesthésiste et le physiologue respiratoire, en ce qu'elle a tendance à se déplacer géographiquement, ou vers le haut, ou vers le bas. Un tel déplacement n'est pas sans entraîner des implications profondes si nous pensons en termes de mouvement ciliaire, de rhéologie du mucus, et surtout d'intégrité de la membrane de recouvrement de l'arbre respiratoire.

Les résultats que nous avons accumulés jusqu'ici nous permettent de préciser que ce point de saturation isothermique se déplace sous l'influence de deux facteurs en particulier. En premier lieu, l'humidité et la température de l'air inspiré; plus il est froid et sec, plus s'abaissera le niveau de saturation isothermique dans l'arbre respiratoire. En second lieu, pour un état stable donné de température et d'humidité en un point précis des voies respiratoires hautes, le niveau de saturation isothermique variera avec le volume courant; une augmentation de ce dernier entraînera une dérive vers le bas du point de saturation isothermique, et vice versa. En d'autres mots, le niveau de saturation isothermique dépend à la fois de la quantité et de la qualité du mélange gazeux inspiré. Cette vue conceptuelle de l'homéostasie de l'humidité et de la température dans le tractus respiratoire est schématisée, d'une façon cependant beaucoup trop dépouillée, dans l'illustration 3.

Au terme de cette étude, nous trouvons sécurisant pour nos patients et pour nous que ce niveau de saturation isothermique ne s'abaisse jamais aussi bas que

l'alvéole, assurant ainsi une PH_2O stable non seulement à l'intérieur de la capacité résiduelle fonctionnelle, mais aussi dans le sang et les tissus de l'organisme.¹⁸

SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

Chez des chiens anesthésiés et ventilés en méthode sans recyclage au moyen d'un mélange gazeux complètement anhydre, des déterminations de l'humidité relative et de la température directement effectuées dans l'alvéole aboutissent à des résultats constants et reproductibles d'une saturation à la température corporelle. Même une hyperventilation maximale avec des gaz secs n'a pas réussi à modifier cette constante biologique.

Deux conclusions ressortent de cette étude. Tout d'abord, nous obtenons l'assurance que, du moins dans les conditions expérimentales exploitées, la membrane de recouvrement alvéolaire nous semble bien protégée contre le froid et la déshydratation exogènes. En second lieu, nos résultats obtenus en hyperventilation maximale confèrent une dimension sécuritaire à la capacité fonctionnelle des voies respiratoires hautes à assurer le conditionnement biophysique idéal de l'air inspiré, soit une humidité relative à 100 pour cent à la température corporelle.