

Facteurs physiologiques influençant le volume capillaire pulmonaire et la diffusion membranaire

S. Rouatbi¹, Y. F. Ouahchi¹, C. Ben Salah¹, H. Ben Saad¹, I. Harrabi², Z. Tabka¹, H. Guénard³

Résumé

Introduction Le poumon subit plusieurs modifications physiologiques au cours de la vie. L'objectif de ce travail est d'identifier les facteurs qui peuvent influencer la fonction du poumon profond en étudiant la diffusion membranaire (Dm) et le volume sanguin capillaire pulmonaire (Vc).

Méthodes Une mesure de la Dm et du Vc a été réalisée au repos chez 135 sujets sains répartis en 3 groupes d'âges différents. Les mêmes mesures ont été effectuées après une épreuve d'exercice musculaire chez 22 enfants. La technique de mesure impliquait le transfert simultané de 2 gaz, le monoxyde d'azote (NO) et le monoxyde de carbone (CO).

Résultats La Dm est corrélée à la taille chez le groupe adulte et au poids chez les âgés. Vc n'est pas corrélé au poids chez les trois groupes étudiés, mais il l'est avec la taille chez les adultes jeunes. Dm et Vc diminuent significativement avec l'âge ($p < 0,05$) respectivement à partir de 40 et 60 ans. Le facteur sexe n'a pas d'effet sur Dm et Vc. L'exercice musculaire a entraîné une augmentation de la Dm et du Vc ($p < 0,05$) qui est attribuée à une distension et à un recrutement massif de nouveaux capillaires.

Conclusion La connaissance de toutes ces modifications physiologiques permettra une meilleure interprétation des variations pathologiques de la fonction du poumon profond.

Mots-clés : Volume sanguin capillaire pulmonaire • Diffusion membranaire • Vieillesse pulmonaire • Exercice musculaire.

¹ Laboratoire de physiologie et explorations fonctionnelles, EPS Farhat Hached, Sousse, Tunisie.

² Service d'épidémiologie, Hôpital Farhat Hached, Sousse, Tunisie.

³ Laboratoire de physiologie, Faculté de Médecine Victor Pachon, Université Bordeaux 2, France.

Correspondance : S. Rouatbi
Laboratoire de physiologie, Faculté de médecine Ibn El Jazzar,
4000, Sousse, Tunisie.
sonia.rouatbi@rns.tn

Réception version princeps à la Revue : 08.06.2005.

Retour aux auteurs pour révision : 28.07.2005.

Réception 1^{ère} version révisée : 21.01.2006.

Acceptation définitive : 23.01.2006.

Rev Mal Respir 2006 ; 23 : 211-8

Physiological factors influencing pulmonary capillary volume and membrane diffusion

S. Rouatbi, Y. F. Ouahchi, C. Ben Salah, H. Ben Saad, I. Harrabi, Z. Tabka, H. Guenard

Summary

Background The lung is subject to many physiological changes during life. The aim of this study was to identify factors that influence gas transfer, which depends on membrane diffusion (Dm) and pulmonary capillary blood volume (Vc).

Methods Dm and Vc measurements were performed at rest in 135 healthy patients divided into three groups according to age and after an exercise in 22 non-trained children. Measurements were made using a simultaneous transfer of 2 gases; nitric oxide (NO) and carbon monoxide (CO).

Results Dm was correlated with height in the adult group and with weight in the elderly group. Vc was not correlated with weight in the three studied groups, but correlated with height in the adult group. Dm and Vc declined with age ($p < 0.05$). For Dm this started at the age of forty whereas a fall in Vc was apparent at sixty. Pulmonary and vascular ageing could explain these results. Sex had no effect on Dm and Vc. Exercise led to a significant rise in Dm and Vc ($p < 0.05$) which was attributed to pulmonary capillary distension and recruitment.

Conclusion Knowledge of these physiological changes permits a better understanding of pathological changes.

Key-words: Pulmonary capillary blood volume • Membrane diffusion • Pulmonary ageing • Exercise.

Rev Mal Respir 2006 ; 23 : 211-8
sonia.rouatbi@rns.tn

Introduction

Malgré les progrès considérables réalisés dans la conception et la mise au point du matériel d'exploration fonctionnelle respiratoire, l'exploration du poumon profond (alvéoles, membrane alvéolo-capillaire et capillaires pulmonaires) reste très limitée [1]. En effet, la majorité des examens utilisés actuellement ne donnent que des renseignements indirects concernant cette partie du poumon [2, 3]. La mesure de la capacité de transfert de monoxyde de carbone (DLCO), qui constitue une méthode standard d'évaluation de la diffusion alvéolo-capillaire, peut être diminuée en cas d'atteinte de la membrane alvéolo-capillaire ou du capillaire pulmonaire. En effet, un défaut de surface ou d'épaisseur de la membrane, une réduction du volume sanguin capillaire pulmonaire (Vc) [4] ou l'hétérogénéité de distribution de la perfusion [3] constituent des causes fréquentes de trouble de la diffusion. Toutefois, les méthodes standards d'étude de la diffusion ne permettent pas une localisation précise du siège du trouble. C'est pourquoi, les techniques de mesure de la capacité de diffusion membranaire (Dm) et du Vc semblent être d'un grand apport.

La méthode traditionnelle, décrite par Roughton et Forster en 1957 [4] a permis d'identifier la Dm et le Vc en mesurant DLCO en deux temps et à deux niveaux de fractions inspirées d'oxygène (FIO₂), 21 % et 100 %. Dès 1987 l'équipe de physiologie de Bordeaux (Guénard et coll. [2]) a mis au point une technique qui repose sur la détermination du transfert simultané de deux gaz, le monoxyde d'azote (NO) et le monoxyde de carbone (CO). Ce procédé permet d'obtenir en un seul temps la capacité de transfert du NO (DLNO), la DLCO, la Dm et le Vc divisant ainsi le temps de l'exploration de cette partie du poumon par deux [2, 6].

Bien que la mesure de la Dm et du Vc par cette nouvelle méthode ne fasse pas partie des explorations de routine, certains chercheurs [7] se sont intéressés à ces deux grandeurs chez l'adulte sans avoir bien analysé les facteurs qui peuvent influencer ces paramètres tels que le sexe et l'exercice musculaire. Or la connaissance de ces derniers est utile aussi bien dans le domaine de la recherche qu'en physiopathologie. En effet, plusieurs pathologies infantiles et gériatriques s'accompagnent d'une modification de la Dm et du Vc et l'interprétation de ces modifications nécessite la connaissance de leurs valeurs de référence.

Les objectifs de ce travail sont de :

- mesurer le Vc et la Dm au repos chez 3 groupes de sujets sains tunisiens d'âges différents par la technique de double transfert NO/CO ;
- analyser l'effet du sexe, de l'âge, du poids, de la taille, de l'indice de masse corporelle (IMC) et de l'exercice musculaire sur la Dm et le Vc.

Matériel et méthodes

Il s'agit d'une étude transversale. Elle a porté sur des volontaires sains qui habitaient la ville de Sousse (Tunisie).

L'échantillon comprenait 3 groupes de sujets qui diffèrent par l'âge : Le premier groupe est constitué de 50 enfants non entraînés d'âge scolaire (8-16 ans). Le deuxième groupe est formé de 55 adultes jeunes (20-40 ans). Le troisième groupe est formé par 30 sujets âgés de 60 ans et plus convoqués de la maison de retraite de Sousse. Chaque sujet participant à l'étude était informé des buts de la recherche et du protocole. Un consentement écrit était obtenu de tous les sujets adultes et des parents des enfants.

Les critères d'exclusion étaient : un tabagisme supérieur à 5 paquets années (PA), une maladie pulmonaire connue (emphysème ou bronchite chronique, asthme, pathologies interstitielles), une symptomatologie pulmonaire (sifflement thoracique, dyspnée et/ou toux chronique supérieure à 3 mois/an et/ou expectoration chronique supérieure à 3 mois/an), une pathologie intercurrente et surtout une infection respiratoire récente, un traitement en cours pouvant modifier la fonction respiratoire, une fonction respiratoire anormale ou une réalisation imparfaite de l'examen, une anémie connue, toute pathologie cardio-vasculaire ou thoracique, tous les facteurs de risque cardio-vasculaires (hypertension artérielle non traitée et instable, diabète), une obésité ou une maigreur avec un indice de masse corporelle ($IMC = \text{poids}/\text{taille}^2$) respectivement supérieur à 30 kg/m^2 ou inférieur à 20 kg/m^2 . Ces critères ont été recherchés à l'aide d'un questionnaire adapté selon la tranche d'âge standardisé et rédigé en français, par un examen physique complet, et par une pléthysmographie corporelle totale (pléthysmographe de type Zan Messgeraete, Allemagne 2000).

Des mesures du volume alvéolaire (VA), de la Dm, de la DLCO et du Vc ont été réalisées en utilisant un appareil Medi-Soft, Hyp'air (Belgique) impliquant le transfert de deux gaz : le NO et le CO. Les gaz étalons utilisés sont : le NO (KINOX 450 ppm) et le CO contenu dans une bouteille à une concentration molaire de 2 817 ppm avec 14 % d'hélium (He), 21 % d'O₂ et solde en azote (N₂).

La calibration a été faite en deux temps. Une calibration des volumes a été faite au moyen d'une seringue de deux litres. Celle des analyseurs comportait les étapes suivantes : rinçage des analyseurs, prise des zéros et analyse du gaz étalon. L'appareil préparait de façon automatisée le mélange inspiratoire. Après vidange automatisée des ballons inspiratoire et expiratoire, le NO était admis dans le ballon inspiratoire à une concentration de 450 ppm, ensuite un mélange d'He, de CO, d'O₂ et de N₂ était admis de façon à ramener la concentration en NO à 40 ppm. Le mélange inspiratoire était analysé pour déterminer les fractions inspiratoires initiales d'He, de CO et de NO (FIHe, FICO, FINO). Ainsi, la personne pouvait alors se brancher sur la pièce respiratoire de l'appareil à travers un filtre, et effectuer, tout en écoutant les stimuli verbaux, une respiration calme pendant 2 ou 3 cycles, suivie d'une expiration profonde pendant laquelle un circuit accédant au mélange gazeux s'ouvrait. À la fin de l'expiration le sujet effectuait une inspiration maximale jusqu'à la capacité pulmonaire totale (CPT). À ce niveau une apnée était maintenue pendant 3 à 4 secondes, suivie d'une expiration maximale

et rapide. Une analyse des concentrations d'He, de CO et du NO dans le sac expiratoire se faisait pour déterminer les fractions alvéolaires (FA) de ces gaz. Cette analyse est possible grâce à des cellules électrochimiques (City Cell, UK) et un catharomètre pour l'hélium par un processus automatisé qui dure 30 secondes. Une première mesure (3 essais) est faite au repos en position assise. Une deuxième mesure (2 essais) est faite 1 à 1,5 minute après la fin de l'épreuve d'exercice musculaire chez 22 enfants.

La Dm et le Vc sont déterminés à partir de DLNO et DLCO par résolution de ces deux équations [2] :

$$\frac{1}{DLCO} = \frac{1}{DmCO} + \frac{1}{\theta CO \times Vc}$$

Et

$$\frac{1}{DLNO} = \frac{1}{a \times DmCO}$$

θ : la conductance spécifique du transfert sanguin du gaz CO

$$a = \left(\frac{PMCO}{PMNO} \right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{\alpha NO}{\alpha CO} \right)$$

PMCO et PMNO = poids moléculaires du CO et du NO

αNO et αCO sont les coefficients de solubilité dans le sang du NO et du CO [6]

Le test n'était retenu que lorsqu'il répondait aux critères de reproductibilité de l'*American Thoracic Society* (ATS) [8].

Vingt-deux enfants ont réalisé une épreuve d'exercice musculaire sur une bicyclette ergométrique type EXCALIBUR (Lode-Gronigen, Hollande). La consommation d'oxygène (VO₂), le rejet de dioxyde de carbone (VCO₂), la ventilation (VE), et la fréquence respiratoire (Fr) étaient déterminés de façon continue par un système de mesure en cycle à cycle automatisé (CPX, Medical Graphics, USA). Le débit ventilatoire était mesuré par un pneumotachographe (*Medical Graphic*) et les gaz expirés étaient analysés par une électrode au Zirconium pour l'O₂ et un analyseur infrarouge pour le CO₂. Le protocole de l'épreuve d'exercice musculaire était standardisé et individualisé [9]. Il s'agissait d'un test progressif maximal de 12 à 15 minutes de durée totale avec des paliers de 1 minute. Pendant le test, un cardio-fréquence-mètre (POLAR S810, Finland) permettait de suivre l'évolution de la fréquence cardiaque et de l'enregistrer.

L'analyse statistique a été réalisée en utilisant le logiciel STATISTICA (Statistica Kernel, version 5.5 stat soft, France). Après vérification de la distribution des paramètres étudiés par le test de normalité de Kolmogorow-Smirnov, les moyennes et les écart-types de toutes les variables anthropométriques (âge, taille, poids, et IMC) et des échanges alvéolo-capillaires (VA, Dm, DLCO et Vc) ont été calculées. Une analyse des corrélations de la Dm et du Vc (variables dépendantes)

dantes) avec les variables indépendantes (âge, poids, taille et IMC) a été réalisée avec détermination du coefficient de corrélation de Spearman (r). Afin de déterminer l'âge à partir duquel commence la chute de la Dm et du Vc une régression linéaire par segment avec une méthode d'estimation de Quasi-Newton (Statistica Kernel, version 5.5 stat soft, France) a été réalisée. Une régression polynomiale de la Dm et du Vc en fonction de l'âge a été réalisée. Les comparaisons de la Dm et du VC entre les états de repos et après l'épreuve d'exercice musculaire ont été effectuées par un test non paramétrique pour séries appariées, test de Wilcoxon. Le seuil de confiance retenu est de 95 %.

Résultats

Cent trente-cinq sujets sains ont été retenus sur les 200 explorés. 65 patients ont été exclus de l'étude à cause de leur mauvaise coopération (surtout chez les enfants et personnes âgées), le refus de continuer l'exploration, la découverte d'un trouble ventilatoire ou d'une anémie méconnus. Aucun sujet de notre étude ne présentait une anémie (Hb entre 12 et 14 g/100 ml). Tous les sujets avaient de bonnes performances ventilatoires.

Le *tableau I* montre les caractéristiques anthropométriques de chaque groupe en fonction du sexe.

Dm est significativement corrélée avec la taille chez les enfants et les adultes ($p < 0,05$) mais pas chez les personnes âgées avec des r de Spearman respectivement de 0,28, 0,58 et 0,28. Vc est significativement corrélé à la taille uniquement chez les adultes ($p < 0,05$, $r = 0,43$) (*fig. 1*).

Le poids détermine significativement les variations de la Dm chez les enfants et les personnes âgées mais pas chez les adultes jeunes avec un r de Spearman de 0,28 chez les deux groupes enfants et âgés. Le Vc n'est pas corrélé au poids chez les trois groupes de sujets étudiés ($p > 0,05$) (*fig. 2*). L'étude

Tableau I.

Caractéristiques anthropométriques de chaque groupe en fonction du sexe.

		Effectif (n)	Âge (année)	Taille (cm)	Poids (kg)	IMC (kg/m ²)
Groupe G1	Femme	6	13 ± 2	153 ± 10	46 ± 11	20 ± 5
	Homme	44	11 ± 2	151 ± 9	42 ± 8	19 ± 2
Groupe G2	Femme	28	35 ± 10	163 ± 7	61 ± 10	25 ± 5
	Homme	27	35 ± 12	172 ± 8	69 ± 13	23 ± 5
Groupe G3	Femme	9	64 ± 4	150 ± 3	68 ± 9	26 ± 5
	Homme	21	73 ± 7	162 ± 9	63 ± 16	24 ± 4

G1 : 50 enfants non entraînés d'âge scolaire (8-16 ans) ; G2 : 55 adultes jeunes (20-40 ans) ; G3 : 30 sujets âgés de 60 ans et plus.

de l'effet de l'IMC sur ces paramètres, montre que Vc et Dm sont positivement corrélés à cette variable ($p < 0,05$).

La Dm augmente significativement à partir de l'âge de 8 ans pour atteindre un maximum vers 30 ans ($p < 0,05$) (*fig. 3*). Elle diminue significativement à partir de 41 ans dans les deux sexes ($r = 0,46$; $p < 0,05$). La variation avec l'âge du Vc est similaire à celle de la Dm. L'augmentation du Vc avec l'âge est significative à partir de l'âge de 14 ans et sa chute commence à partir de 30 ans ($p < 0,05$). Toutefois, Vc diminue de moitié à partir de l'âge de 60 ans ($r = 0,24$; $p < 0,05$) (*fig. 4*). Ainsi, le vieillissement pulmonaire se traduit par une diminution de la Dm et du Vc entraînant une chute de la diffusion alvéolo-capillaire des gaz respiratoires.

Le facteur sexe n'a pas d'effet significatif sur la Dm et le Vc ($p > 0,05$).

L'exercice musculaire induit une augmentation significative de la Dm et du Vc ($p < 0,05$) (*fig. 5*).

Discussion

L'objectif de ce travail était de déterminer les facteurs de variation du Vc et de la Dm chez le sujet sain. Les principaux résultats trouvés sont :

- la Dm dépend du poids chez les enfants et les personnes âgées, de la taille chez les enfants et les adultes ;
- le Vc n'est pas corrélé au poids chez les trois groupes étudiés et corrélé à la taille chez les adultes ;
- le sexe n'a pas d'effet sur la Dm et le Vc ;
- le vieillissement pulmonaire entraîne une chute de ces paramètres ;
- l'exercice musculaire induit une augmentation significative de la Dm et du Vc.

C'est une étude transversale qui s'est basée sur des critères d'exclusion pour la sélection du groupe sain. Ce type d'étude peut apporter des biais pour étudier les variations avec l'âge mais elle est plus facile à mettre en oeuvre et requiert moins de temps qu'une étude longitudinale [10].

Le premier groupe est formé par des enfants d'âge scolaire parce que les manœuvres ventilatoires sont difficilement réalisables chez l'enfant d'âge pré-scolaire [1]. En effet, celles-ci demandent une coopération et une coordination de la part du sujet [1]. Comme pour les enfants, nous avons opté pour le choix de sujets adultes sains dont l'IMC est conforme aux normes et qui ne sont pas exposés à des facteurs de risque pouvant induire des perturbations de la fonction respiratoire tels que le tabagisme massif et les agents professionnels et environnementaux nocifs [11]. La taille du troisième groupe est réduite vu qu'il s'agit de sujets sains et qu'il est difficile de trouver une personne de troisième âge sans un problème de santé.

L'avantage méthodologique essentiel de la technique de double transfert du CO et du NO réside dans sa réalisation en un seul temps ce qui réduit la dispersion intra-individuelle des mesures [3]. Théoriquement le NO est un gaz idéal pour étudier le fonctionnement de la membrane alvéolo-capillaire

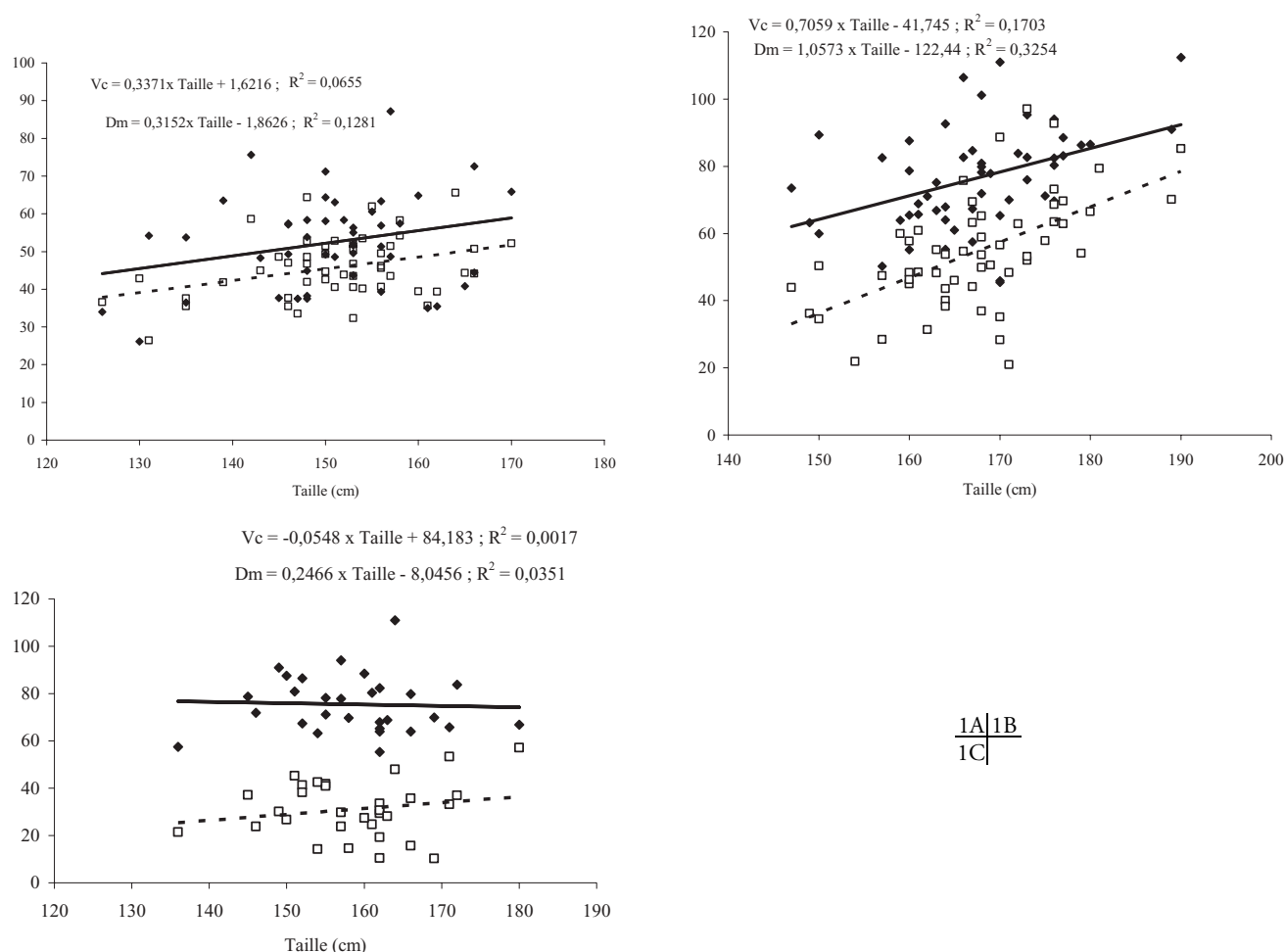


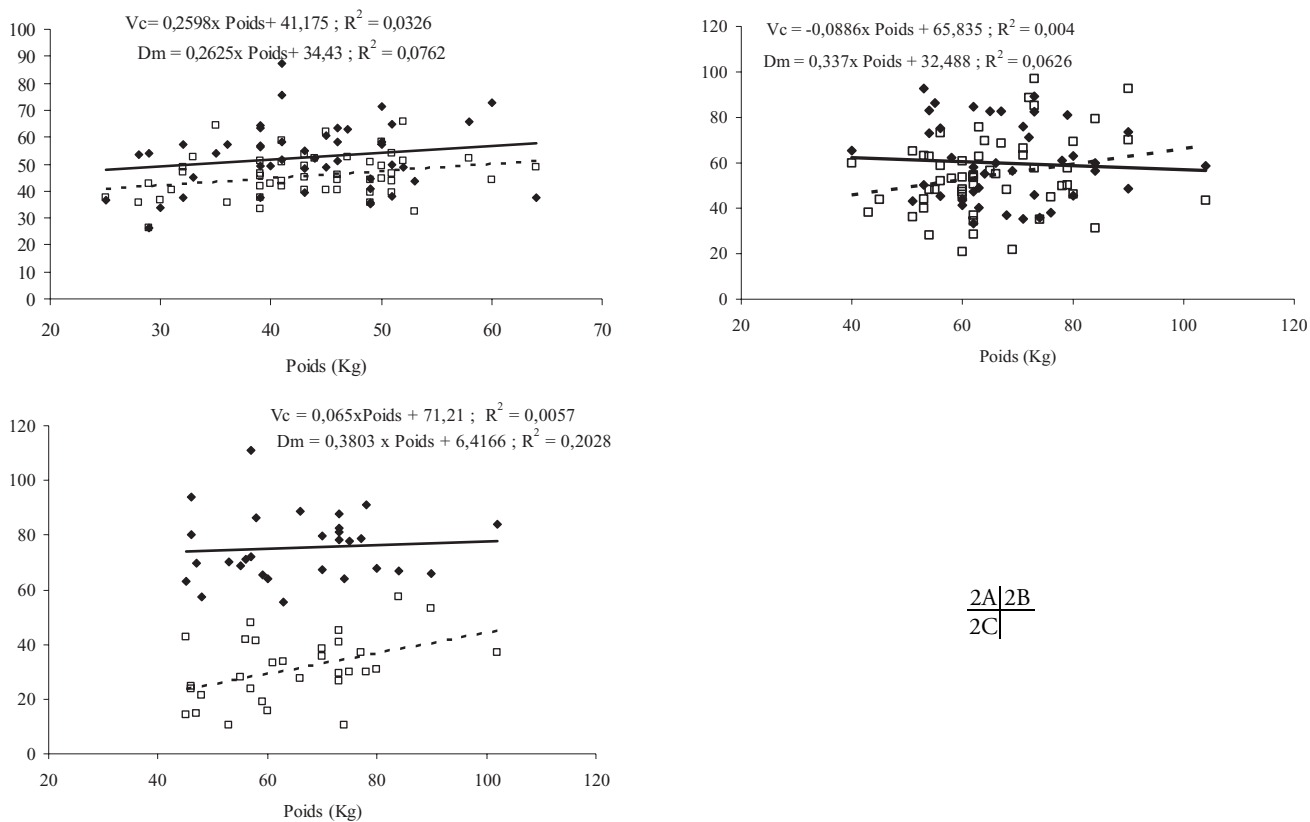
Fig. 1.

A) Évolution du volume capillaire et de la diffusion membranaire en fonction de la taille chez les enfants ; B) Évolution du volume capillaire et de la diffusion membranaire en fonction de la taille chez les adultes ; C) Évolution du volume capillaire et de la diffusion membranaire en fonction de la taille chez les sujets âgés. ♦ Le volume capillaire (Vc) ; □ La diffusion membranaire (Dm) ; — Courbe de tendance du Vc ; Courbe de tendance de la Dm.

[12]. Il peut être un moyen de mesure du transfert extra-erythrocytaire des gaz [6] car son affinité est très grande vis-à-vis de l'hémoglobine. Le NO se combine avec l'hémoglobine 1 400 fois plus rapidement que le CO [13]. Sa dissociation à partir de HbNO est plus lente que celle du CO à partir de HbCO [6]. La toxicité du NO dépend de sa concentration, de la durée de contact du NO avec l'O₂ et de la pression inspiratoire d'O₂ (PIO₂). Borland et coll. [6] ont montré que l'addition d'une concentration de 40 ppm de NO dans l'air ambiant a donné, après oxydation, une faible quantité de dioxyde d'azote (NO₂) de l'ordre de 5 ppm. Ainsi, 40 ppm de NO inhalées pendant trois manœuvres consécutives de cycle respiratoire unique à un temps d'apnée relativement court de trois secondes ne peut pas avoir d'effet toxique direct sur les poumons de nos sujets.

D'une manière générale, la taille est considérée comme le déterminant prédictif majeur des débits ventilatoires et des

volumes pulmonaires et ceci quel que soit l'âge [10, 14, 15]. Concernant le poumon profond dans cette étude où l'étendue de la taille est importante, on a constaté une augmentation significative de la Dm et du Vc avec la taille, ce résultat est en accord avec les résultats de la littérature [13, 16, 17]. En effet, Zanen et coll. [13] ont trouvé que le Vc et la Dm augmentent avec la taille. Ainsi, les plus grands ont des petites valeurs de 1/Vc et 1/Dm. L'étude par groupe a montré que ce facteur taille a un effet déterminant sur Vc et surtout sur la Dm uniquement chez les enfants et les adultes. En effet, les tassements vertébraux et les déformations thoraciques sont responsables de la sous-estimation de la taille chez les sujets âgés [18]. Zanen et coll. [13] et Georges et coll. [7] ont trouvé que Dm et Vc dépendent beaucoup plus de la taille que de l'âge. Toutefois, ils n'ont pas trouvé de corrélation entre ces paramètres et le poids chez les adultes (adultes jeunes et âgés) [7, 13]. Dans notre étude, le facteur poids a un effet détermi-

**Fig. 2.**

A) Évolution du volume capillaire et de la diffusion membranaire en fonction du poids chez les enfants ; B) Évolution du volume capillaire et de la diffusion membranaire en fonction du poids chez les adultes ; C) Évolution du volume capillaire et de la diffusion membranaire en fonction du poids chez les sujets âgés. ♦ Le volume capillaire (Vc) ; □ La diffusion membranaire (Dm) ; — Courbe de tendance du Vc ; Courbe de tendance de la Dm.

nant surtout sur la Dm des personnes âgées. Ceci peut être expliqué par la réduction du volume alvéolaire chez les sujets âgés liée d'une part au vieillissement [19] et d'autre part au facteur poids qui réduit tous les volumes pulmonaires lorsqu'il augmente [18]. En effet, Georges et coll. [7] ont démontré qu'il existe une corrélation significative entre la Dm et le volume alvéolaire. La corrélation entre la Dm et la taille et le poids chez les enfants peut être expliquée par la variation importante de ces facteurs à cet âge rattachée à la croissance staturo-pondérale.

Plusieurs autres travaux [7, 20] se sont intéressés à l'étude de l'effet de l'âge sur les différentes fonctions du poumon profond, et en particulier la DLCO. Selon l'étude de Georges et coll. [7], utilisant la méthode avec deux niveaux de FIO_2 , la Dm, la DLCO et le Vc diminuent tous avec l'âge. Cette diminution peut être due au changement de la morphologie de la surface alvéolo-capillaire ou bien à l'augmentation de l'hétérogénéité de distribution de la ventilation et de la perfusion ou à l'association des deux [7]. Zanen et coll. [13], en utilisant la méthode du cycle ventilatoire unique de mesure de la capacité de diffusion du poumon avec deux niveaux de FIO_2 (21 % et 100 %), ont noté que la Dm dimi-

nue avec l'âge mais cet effet est peu important par rapport à l'effet de la taille. La comparaison des résultats de notre étude chez les hommes et les femmes adultes par rapport à ceux de Zanen montre que nos valeurs sont plus petites mais proches de celles de Zanen concernant le Vc. Les écarts moyens en pourcentage sont respectivement de 5,44 % et 5,84 % pour la taille et l'âge moyens de notre échantillon. Ainsi, l'utilisation de l'équation de Zanen risque de surestimer les valeurs du Vc chez les Tunisiens. Le calcul de la Dm par les équations de Zanen et coll. [13] montre des écarts très importants aussi bien chez les hommes que chez les femmes de notre échantillon. Ces différences peuvent s'expliquer par les méthodes de mesure qui sont différentes d'une part et les particularités de chaque échantillon des deux études d'autre part. Toutefois, nos résultats de Dm et Vc en fonction de l'âge sont comparables avec ceux de Guénard et coll. [2] qui ont utilisé la même méthode de mesure.

Dans notre étude, où l'échantillon comprend des sujets de tout âge, la Dm et le Vc augmentent entre l'enfance et l'âge adulte. Cette augmentation peut être attribuée à la croissance staturo-pondérale. La diminution de la Dm et du Vc respectivement après l'âge de 40 et 60 ans peut être expliquée

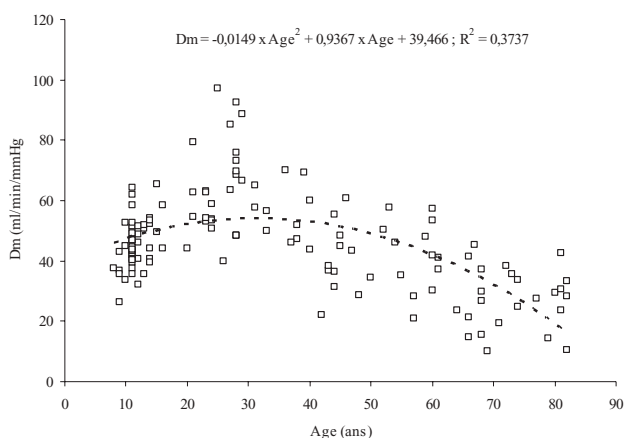


Fig. 3. Évolution de la diffusion membranaire en fonction de l'âge ; R^2 : Coefficient de détermination ; courbe de tendance de La diffusion membranaire (Dm) de type polynomiale.

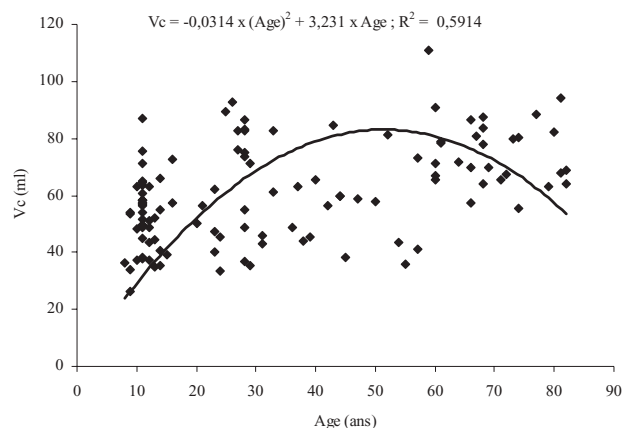


Fig. 4. Variation du volume sanguin capillaire pulmonaire en fonction de l'âge (Régression polynomiale) ; R^2 : Coefficient de détermination ; — Courbe de tendance du volume sanguin capillaire pulmonaire (Vc).

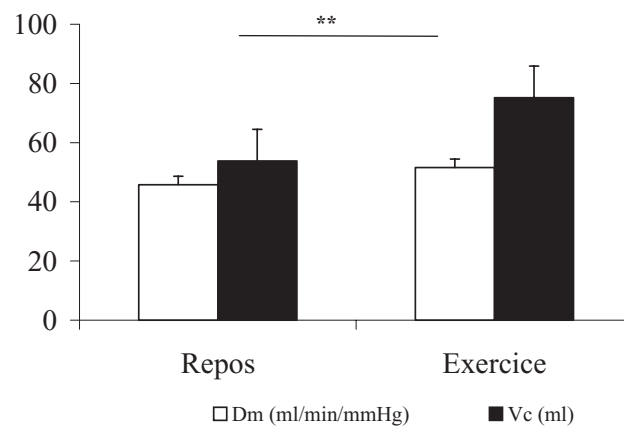


Fig. 5. Le volume capillaire et la diffusion membranaire avant et après un exercice musculaire ; ** : augmentation significative de la Dm et du Vc ($p < 0,05$).

par l'élargissement des espaces aériens périphériques (emphyse sénile) entraînant une réduction de la surface d'échange alvéolaire [21, 22] et des modifications anatomiques et fonctionnelles de la membrane alvéolo-capillaire [8]. Hamer [23] a constaté que la diminution de la capacité de transfert avec l'âge n'est pas liée à la réduction du volume sanguin capillaire pulmonaire, alors que Georges et coll. [7] ont montré que Vc constitue un facteur déterminant dans les variations de la DLCO. Dans notre étude, à partir de 60 ans, Vc diminue de moitié, alors que Fowler [20], en utilisant la méthode classique avec deux FIO₂, a trouvé que cette réduction chez les personnes âgées est de 4 à 5 fois par rapport à l'âge adulte. En se référant à nos résultats, le temps de transit du sang pulmonaire au repos passe de 750 ms chez le sujet jeune à 375 ms chez le sujet âgé à cœur sain. Dans ces conditions les possibilités d'adaptation à l'exercice sont faibles et tout facteur de perturbation pulmonaire (infection ou fièvre) pourrait avoir un rôle très péjoratif sur les échanges gazeux. Butler et Kleinerman [24] ont effectivement constaté par un examen histologique une réduction de 15 % de la densité des capillaires pulmonaires entre 20 et 57 ans. Il en résulte aussi une modification de la résistance à l'écoulement du sang dans la circulation pulmonaire qui va se traduire par une pression artérielle pulmonaire plus importante chez le sujet âgé au cours de l'exercice musculaire [25].

Bien qu'il soit bien établi maintenant que certains paramètres ventilatoires sont plus élevés chez l'homme que chez la femme [3, 26], l'effet du sexe sur la fonction du poumon profond n'est pas clair. En effet, les études effectuées montrent d'énormes contradictions, certains auteurs [7] montrent que le sexe n'a aucun effet sur ces paramètres ce qui est concordant avec nos résultats. Guénard et coll. [2], en utilisant la méthode de double transfert NO-CO, ont montré que la Dm et le Vc sont plus grands chez l'homme que chez la femme. Ceci peut être expliqué par l'origine ethnique et les caractéristiques anthropométriques des échantillons des deux études [8].

L'exercice musculaire chez les enfants non entraînés a conduit à une augmentation significative de la Dm et du Vc. Ce résultat est concordant avec celui de Tamhane et coll. [27] qui ont trouvé que ces paramètres augmentent linéairement avec le débit cardiaque lors d'un exercice musculaire.

L'intensité de l'exercice musculaire conditionne la réponse alvéolo-capillaire à l'effort. Plus celle-ci est importante, plus la Dm et le Vc sont élevés [27, 28]. Le moment de la mesure après l'exercice musculaire peut constituer un facteur déterminant dans l'appréciation des variables du poumon profond. Manier et coll. [29] ont montré que la Dm et le Vc augmentent d'une manière significative pendant l'exercice musculaire. Pendant la période de récupération, les valeurs de ces paramètres commencent à chuter à partir de la 15^e minute pour revenir à leurs valeurs de base à peu près à la 30^e minute. L'augmentation initiale est rattachée aux phénomènes de recrutement et de distension au niveau du lit vasculaire pulmonaire, faisant ainsi augmenter le Vc. La chute des valeurs de la Dm est liée aux altérations de la membrane

alvéolo-capillaire induites par l'exercice [29]. Les mesures chez nos sujets ont été effectuées 5 à 10 minutes après l'épreuve d'exercice musculaire.

L'âge, la taille, le poids et l'exercice musculaire peuvent être considérés comme des facteurs déterminants de la Dm et du Vc en fonction du groupe étudié. Toutefois, il existe d'autres facteurs physiologiques comme la parité [18], l'activité physique, la température et l'altitude qui pourraient influencer la Dm et le Vc et donc devraient être étudiés.

La connaissance de toutes ces modifications physiologiques permettra une meilleure interprétation des variations pathologiques de la fonction du poumon profond.

Remerciements

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés à réaliser cette étude particulièrement le Directeur de la maison de retraite de Sousse, La société Médisoft et le Docteur Sfaxi Slama Raoudha.

Références

- 1 Marchal F, Loos N, Schweitzer C, Gauthier R : Quelques aspects de l'exploration fonctionnelle respiratoire chez l'enfant. *Rev Mal Respir* 2000 ; 17 : 67-75.
- 2 Guénard H, Varène N, Vaida P : Determination of lung capillary blood volume and membrane diffusing capacity in man by measurements of NO and CO transfer. *Respir Physiol* 1987 ; 70 : 113-20.
- 3 Moinard J, Guénard H : Determination of the lung capillary blood volume and membrane diffusing capacity in patients with COPD using the NO-CO method. *Eur Respir J* 1990 ; 3 : 318-22.
- 4 Roughton FJW, Forster RE : Relative importance of diffusion and chemical reaction rates in determining the rate of exchange of gases in the human lung, with special reference to true diffusing capacity of the pulmonary membrane and volume of blood in lung capillaries. *J Appl Physiol* 1957 ; 11 : 290-302.
- 5 Moinard J, Guénard H : Membrane diffusion of the lungs in patients with chronic renal failure. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : 225-30.
- 6 Borland CDR, Higenbottan T : A simultaneous single breath measurement of pulmonary diffusing capacity with nitric oxide and carbon monoxide. *Eur Respir J* 1989 ; 2 : 56-63.
- 7 Georges R, Saumon G, Loiseau A : The Relationship of age to pulmonary membrane conductance and capillary blood volume. *Am Rev Respir Dis* 1978 ; 117 : 1069-78.
- 8 American Thoracic Society : Lung function testing : selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 144 : 1202-18.
- 9 American Thoracic Society : ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003 ; 167 : 211-77.
- 10 Ware JH, Dockery DW, Louis TA, Xu XP, Ferris BG Jr, Speizer FE : Longitudinal and cross-sectional estimates of pulmonary function decline in never smoking adults. *Am J Epidemiol* 1990 ; 132 : 685-700.
- 11 Mc Cleary GE, Svartengren M, Pedersen NL, Heller DA, Plomin R : Genetic and environmental influences on pulmonary function in aging Swedish twins. *J Gerontol* 1994 ; 49 : 264-8.
- 12 Meyer M, Piiper J : Nitric oxide (NO), a new gas for study of alveolar - capillary diffusion. *Eur Respir J* 1989 ; 2 : 494-6.
- 13 Zanen P, Van der Lee I, Van der Mark T, Van der Bosch JMM : Reference values for alveolar membrane diffusion capacity and pulmonary capillary blood volume. *Eur Respir J* 2001 ; 18 : 764-9.
- 14 Enright PL, Kronmal RA, Higgins M, Shenker M, Haponik EF : Spirometry reference values for women and men 65 to 85 years of age. *Am Rev Respir Dis* 1993 ; 147 : 125-33.
- 15 Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB : Spirometric reference values from a sample of the general U.S. population. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 ; 159 : 179-87.
- 16 Cotes JE : Lung function, Assessment and application in medicine. 5th Edition. Oxford, Blackwell scientific publications 1993, pp. 445-514.
- 17 Frans A : Les valeurs normales du volume capillaire pulmonaire (Vc) et de la capacité de diffusion de la membrane alvéolo-capillaire. In : Arcangeli P, ed. Normal values for Respiratory function in man, Torino, Panminerva Medica, 1970, pp. 352-63.
- 18 Ben Saad H, Rouatbi S, Raoudha S, Tabka Z, Laouani Kechrid C, Hassen G, Guénard H : Capacité vitale et débits maximaux expiratoires dans une population nord-africaine de plus de 60 ans. Influence des données anthropométriques et de la parité. *Rev Mal Respir* 2003 ; 20 : 521-30.
- 19 Guénard H, Rouatbi S : Aspects physiologiques du vieillissement respiratoire. *Rev Mal Respir* 2002 ; 19 : 230-40.
- 20 Fowler RW : Ageing and lung function. *Age and Ageing* 1985 ; 14 : 209-15.
- 21 Sherrill DL, Enright PL, Kaltborn WT, Lebowitz MD : Predictors of longitudinal change in diffusing capacity over 8 years. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 ; 160 : 883-7.
- 22 Ueda T, Cheng G, Kuroki Y, Sano H, Sugiyama K, Motojima S, Fukuda T : Effects of aging on surfactant forms in rats. *Eur Respir J* 2000 ; 15 : 80-4.
- 23 Hamer N : The effect of age on the components of the pulmonary diffusing capacity. *Clin Sci* 1962 ; 23 : 85-93.
- 24 Butler C, Kleinerman J : Capillary density : alveolar diameter, a morphometric approach to ventilation and perfusion. *Am Rev Respir Dis* 1970 ; 102 : 886-94.
- 25 Ehrsam RE, Perruchoud A, Oberholzer M, Burkart F, Herzog H : Influence of age on pulmonary haemodynamics at rest and during supine exercise. *Clin Sci* 1983 ; 65 : 653-60.
- 26 Kendrick AH, Laszlo G : CO transfer factor on exercise / age and sex differences. *Eur Respir J* 1990 ; 3 : 323-8.
- 27 Tamhane RM., Johnson RL Jr., Hsia CC. Pulmonary membrane diffusing capacity and capillary blood volume measured during exercise from nitric oxide uptake. *Chest* 2001 ; 120 : 1850-6.
- 28 Gerald S, Zavorsky K, Badra Q, Philip SM, Larry CL : The relationship between single breath diffusion capacity of the lung for nitric oxide and carbon monoxide during various exercise intensities. *Chest* 2004 ; 125 : 1019-27.
- 29 Manier G, Moinard J, Stoicheff H : Pulmonary diffusing capacity after maximal exercise. *J Appl Physiol* 1993 ; 75 : 2580-5.