



**COMPARAISON DE L'EFFET DE LA POSITION TRIPODE
ET DU DÉCUBITUS VENTRAL SUR LE VOLUME
PULMONAIRE EN FIN D'EXPIRATION CHEZ DES
VOLONTAIRES SAINS**

ELSA AUTUNNO

Étudiante Bachelor – Filière Physiothérapie

DELIA SACCHETTINI

Étudiante Bachelor – Filière Physiothérapie

Directeur de travail : **JEAN-BERNARD MICHOTTE**

**TRAVAIL DE BACHELOR DÉPOSÉ ET SOUTENU A LAUSANNE EN 2022 EN VUE DE
L'OBTENTION D'UN BACHELOR OF SCIENCE HES-SO EN PHYSIOTHERAPIE**

Haute Ecole de Santé Vaud

Filière Physiothérapie

RESUME

Introduction

Le décubitus ventral (DV), habituellement utilisé chez des patients intubés, ventilés et sédatisés, a été appliqué chez des patients éveillés, non intubés en ventilation spontanée, dans le but de prévenir ou retarder l'intubation lors de la crise du Covid-19. De nombreux patients conscients ne tolérant pas le DV, des équipes ont recherché et proposé une alternative : la position tripode.

Objectif

L'objectif principal de cette étude est de comparer l'effet du décubitus ventral et de la position tripode sur le volume pulmonaire en fin d'expiration chez des volontaires sains.

Méthode

L'expérimentation s'est déroulée en 5 séquences durant lesquelles les sujets ont été positionnés dans 3 positions différentes : le décubitus dorsal (DD), le décubitus ventral et la position tripode (T). Chaque position a été maintenue pendant 10 minutes. Le volume pulmonaire en fin d'expiration a été mesuré durant les deux dernières minutes par une tomographie par impédance électrique.

Résultats

Les 10 volontaires sains inclus étaient âgés de $23,4 \pm 2,9$ ans avec un IMC de $21,3 \pm 1,2 \text{kg/m}^2$. Le changement de position DD-T montre une augmentation significative ($p < 0,001$) du volume pulmonaire en fin d'expiration, alors qu'il n'existe aucune différence significative pour le changement de position DD-DV. La variation d'impédance en fin d'expiration du changement de position DD-T est significativement plus importante que celle observée lors du changement de position DD-DV ($p < 0,001$).

Conclusion

L'amélioration significative du changement de position DD-T sur le volume pulmonaire en fin d'expiration donne une perspective prometteuse à la position tripode.

Mots-clés

Positionnement, tomographie par impédance électrique, volume pulmonaire en fin d'expiration, recrutement, confort, décubitus ventral, position tripode

AVERTISSEMENT

Les prises de position, la rédaction et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de ses auteurs et en aucun cas celle de la Haute Ecole de Santé Vaud, du Jury ou du Directeur du Travail de Bachelor.

Nous attestons avoir réalisé seules le présent travail, sans avoir utilisé d'autres sources que celles indiquées dans la liste de références.

Le 10 juin 2022, Elsa Autunno et Delia Sacchetti

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier sincèrement notre directeur de Travail de Bachelor, Jean-Bernard Michotte, pour son aide, sa disponibilité à toute épreuve, son temps, son humour et les nombreux Teams, tout au long de ce travail.

Un grand merci également aux Cliniques Universitaires Saint-Luc à Bruxelles qui nous ont mis à disposition le Pulmovista 500® et ainsi permis de réaliser ce travail. Nous y remercions d'ailleurs chaleureusement Guillaume Maerckx, Grégory Reychler et Jean Roeseler pour leur accueil et leur investissement lors de la réalisation de notre travail.

Notre reconnaissance va également à tous les volontaires qui ont accepté de participer à notre étude, sans qui rien n'aurait été possible.

Finalement, nous adressons nos remerciements à Sabine Autunno et Patricia Jost pour leur relecture ainsi qu'à nos proches pour leur soutien tout au long de ce travail.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction.....	1
2	Cadre théorique.....	2
2.1	Ventilation en décubitus ventral	2
2.1.1	Effets et mécanismes physiologiques du décubitus ventral.....	2
2.1.1.1	Effets du décubitus dorsal sur la ventilation.....	3
2.1.1.2	Effets du décubitus ventral sur la ventilation.....	3
2.1.1.2.1	Répondeurs vs non-répondeurs.....	4
2.1.1.2.2	Durée du positionnement	4
2.1.1.3	Effets du positionnement en ventilation mécanique.....	5
2.1.2	Indications et contre-indications du décubitus ventral	5
2.1.3	Le décubitus ventral en ventilation spontanée dans le Covid-19.....	5
2.2	Position tripode.....	6
2.3	La tomographie par impédance électrique.....	7
2.3.1	PulmoVista 500®.....	7
2.3.1.1	Principes de mesure.....	8
2.3.1.2	Indications	9
2.3.1.3	Contre-indications	9
3	Problématique	11
4	Matériel.....	12
5	Méthode	13
5.1	Design de l'étude.....	13
5.2	Sujets	13
5.3	Déroulement de l'étude.....	13
5.4	Paramètres mesurés	15
5.5	Analyses statistiques.....	16
6	Résultats.....	18
6.1	Sujets	18
6.2	Effets des changements de position sur l'impédance en fin d'expiration.....	18
6.2.1	DD vs DV.....	19

6.2.2	DD vs position tripode	19
6.2.3	Comparaison des variations d'impédance en fin d'expiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T.....	19
6.3	Effets des changements de position sur le pourcentage de répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration	20
6.3.1	Répartition antérieure.....	21
6.3.1.1	DD vs DV	21
6.3.1.2	DD vs position tripode.....	21
6.3.1.3	Comparaison des variations du pourcentage de répartition antérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T.....	21
6.3.2	Répartition postérieure	22
6.3.2.1	DD vs DV	22
6.3.2.2	DD vs position tripode.....	22
6.3.2.3	Comparaison des variations du pourcentage de répartition postérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T.....	22
6.4	Effets du positionnement sur l'échelle numérique de confort.....	23
7	Discussion	24
7.1	Interprétation des résultats	24
7.1.1	Effets des changements de position sur l'impédance en fin d'expiration.....	24
7.1.1.1	DD vs DV	24
7.1.1.2	DD vs position tripode.....	25
7.1.1.3	Comparaison des variations d'impédance en fin d'expiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T	26
7.1.2	Effets des changements de position sur le pourcentage de répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration	26
7.1.3	Effets du positionnement sur l'échelle numérique de confort.....	27
7.2	Limites de l'étude	27
7.3	Implications pour la pratique	28
7.4	Pistes pour de futures recherches.....	28
8	Conclusion	29
	Liste de références	30
	Annexes	34

1 INTRODUCTION

Le Covid-19 est une pathologie multi-systémique qui touche, entre autres, le système respiratoire. Selon la gravité de l'atteinte pulmonaire, elle peut entraîner des hypoxémies légères ou sévères (Bohn et al., 2020). Dans plus de 80% des cas, la réponse immunitaire suffit à combattre le virus et n'entraîne pas de complications respiratoires sévères. Dans 14% des cas, elle évolue vers une pneumonie. Finalement, dans 5% des cas, elle entraîne un syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA), un sepsis et/ou un syndrome de défaillance multiviscérale (Wu & McGoogan, 2020). Selon Wiggermann et al. (2020), 42% des patients hospitalisés souffrant de Covid-19 développent un SDRA et ceux-ci ont un risque de mortalité de 52%.

Dans le contexte de crise sanitaire que nous avons vécu ces 2 dernières années, diverses techniques pouvant traiter l'hypoxémie des patients ont été utilisées. Parmi celles-ci, le décubitus ventral (DV), traitement connu et indiqué chez les patients atteints de SDRA (Ng et al., 2020). Le positionnement ventral permet, dans certaines situations, d'améliorer l'oxygénation et de limiter les risques de lésions induites par le ventilateur, grâce à une meilleure homogénéisation de la ventilation (Koulouras et al., 2016).

L'utilisation de cette technique, habituellement chez des patients intubés, ventilés et sédatisés, a été appliquée de manière innovante chez des patients non intubés en ventilation spontanée, dans le but de prévenir ou retarder la mise sous ventilation mécanique invasive (Jagan et al., 2020; McGurk et al., 2020).

De nombreux patients en ventilation spontanée ne tolérant pas le DV, des équipes ont recherché et proposé des alternatives, comme la position tripode. D'après leurs premières observations, celle-ci permet d'améliorer l'oxygénation de manière similaire au DV. Selon certaines hypothèses qui n'ont pas encore été investiguées, cette amélioration des échanges gazeux pourrait être liée à une augmentation de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF). (Coppo et al., 2021; Uy et al., 2021)

L'objectif de notre travail est donc d'évaluer les effets de cette alternative au DV chez les patients non intubés en ventilation spontanée, en comparant le volume pulmonaire en fin d'expiration dans la position tripode et dans le décubitus ventral chez des volontaires sains. Ceci par l'utilisation de la tomographie par impédance électrique.

2 CADRE THEORIQUE

Dans cette première partie, les différents concepts impliqués dans notre travail expérimental seront présentés, c'est-à-dire le décubitus ventral, la position tripode et la tomographie par impédance électrique.

2.1 Ventilation en décubitus ventral

Depuis les années 70, le décubitus ventral est une manœuvre posturale utilisée dans le traitement des patients atteints du syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA). Initialement appliqué chez des malades sédatisés, intubés et ventilés, cette technique s'est développée ces dernières années chez des patients non intubés en ventilation spontanée, notamment pendant la crise du Covid-19. (Roche-Campo et al., 2011)

Le SDRA est caractérisé par une atteinte pulmonaire inflammatoire diffuse et aiguë, ce qui entraîne une augmentation de la perméabilité des capillaires alvéolaires et un œdème pulmonaire non hydrostatique. Ceci induit une hypoxémie aiguë ($PaO_2/FiO_2 < 300\text{mmHg}$), une faible compliance thoraco-pulmonaire et un shunt pulmonaire. (Fernando et al., 2021)

Selon la définition de Berlin, pour être diagnostiqué d'un SDRA, le patient doit présenter dans la semaine suivant une pathologie pulmonaire (comme une pneumonie ou un Covid-19) ou extra-pulmonaire (comme un trauma, une pancréatite ou un sepsis) :

- Un rapport de la pression artérielle en oxygène sur la fraction inspirée en oxygène (PaO_2/FiO_2) inférieur à 300, mesuré avec une PEP d'au moins 5 cmH₂O. Il permet aussi de définir le niveau de gravité :
 - o Léger : 200-300mmHg
 - o Modéré : 100-200mmHg
 - o Sévère : < 100mmHg
- Des opacités bilatérales sur sa radiographie, non-expliquées par des épanchements, des nodules ou des collapsus lobaires ou pulmonaires
- Une insuffisance respiratoire ne provenant pas que d'une insuffisance cardiaque ou d'une surcharge liquidienne

(Fernando et al., 2021; Koulouras et al., 2016)

2.1.1 EFFETS ET MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES DU DÉCUBITUS VENTRAL

Les deux effets principaux du DV sont l'amélioration de l'oxygénation du sang artériel et la protection pulmonaire contre les lésions induites par la ventilation mécanique. Ils s'expliquent principalement par une meilleure répartition de la ventilation pulmonaire dans les régions dorsales du poumon (Koulouras et al., 2016). Le DV s'applique à des patients intubés et sédatisés en ventilation mécanique ou non intubés en ventilation spontanée, avec ou sans assistance mécanique.

Dans le cadre de notre travail, nous nous limiterons aux explications concernant les patients non intubés en ventilation spontanée, sauf mention contraire.

2.1.1.1 Effets du décubitus dorsal sur la ventilation

En décubitus dorsal (DD), par l'effet des forces gravitationnelles, la partie dorsale du poumon est comprimée par le poids du cœur (*Figure 1A*) (Koulouras et al., 2016; McGurk et al., 2020), l'abdomen (Wendt et al., 2021) et la partie antérieure du poumon (Varpula et al., 2003). De plus, la position des viscères comprime la partie postérieure du diaphragme, partie qui présente le plus grand mouvement contractile. Ceci s'oppose au mouvement diaphragmatique global (*Figure 2A*) (Varpula et al., 2003). Ces différents éléments diminuent la ventilation pulmonaire dorsale. Ils influencent aussi la pression pleurale, ce qui entraîne une pression transpulmonaire (= pression alvéolaire – la pression pleurale) moins élevée dans les zones dorsales (Koulouras et al., 2016; Scholten et al., 2017). Ceci signifie qu'il y a un moins bon recrutement dans les zones alvéolaires postérieures. Par ailleurs, anatomiquement, le poumon possède plus d'alvéoles dans les zones dorsales que ventrales. Ce déséquilibre anatomique couplé au DD accentue une distribution non homogène de la ventilation (*Figure 3A*).

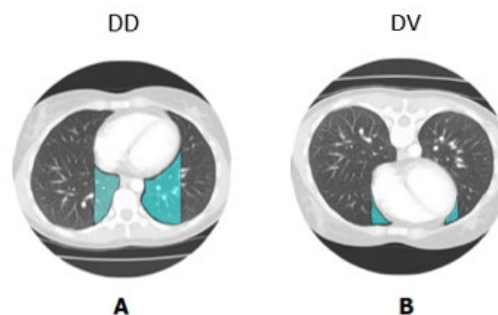


Figure 1 : A : En DD, le cœur repose sur le poumon et en comprime une zone importante, la zone bleue. B : Le DV permet au cœur de reposer sur le sternum et ainsi la zone comprimée, la zone bleue, est fortement diminuée. Tiré et adapté de Koulouras et al., 2016

2.1.1.2 Effets du décubitus ventral sur la ventilation

En positionnant le patient en DV, on inverse les forces gravitationnelles. Au niveau dorsal, les zones pulmonaires comprimées diminuent (*Figure 1B*) et la pression transpulmonaire augmente. La compliance thoraco-pulmonaire diminue, car la partie antérieure du thorax, plus compliante, repose sur le matelas et ne peut donc pas s'expandre librement (Roche-Campo et al., 2011). Il en résulte un dérecrutement des zones alvéolaires ventrales mais un recrutement des zones dorsales plus important (*Figure 3C*) (Koulouras et al., 2016). Finalement, la position des viscères libère la partie postérieure du diaphragme, ce qui le met dans de meilleures conditions de travail. Son mouvement contractile peut donc être plus important (Jagan et al., 2020). Tous ces éléments contribuent à une meilleure homogénéisation de la ventilation (*Figure 2B et 3D*) (Corte et al., 2020).

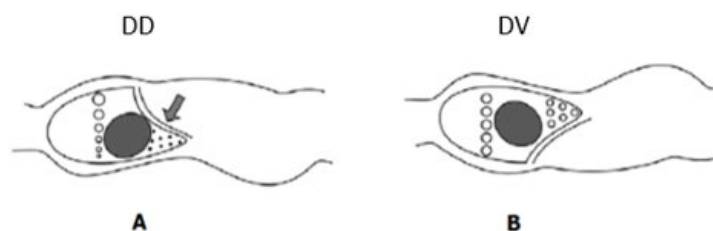


Figure 2 : A : En DD, les alvéoles dorsales sont comprimées et peu ventilées. B : Le DV permet l'homogénéisation de la ventilation. Tiré et adapté de McGurk et al., 2020

Par ailleurs, la partie dorsale du poumon est la mieux perfusée quelle que soit la position du patient (Roche-Campo et al., 2011; Varupula et al., 2003). Ainsi, l'amélioration de la ventilation alvéolaire dorsale permet d'uniformiser le rapport ventilation/perfusion (V/Q) de cette région (McGurk et al., 2020; Varpula et al., 2003; Wendt et al., 2021). Cela augmente donc l'oxygénation du sang artériel grâce à une diminution du shunt pulmonaire.

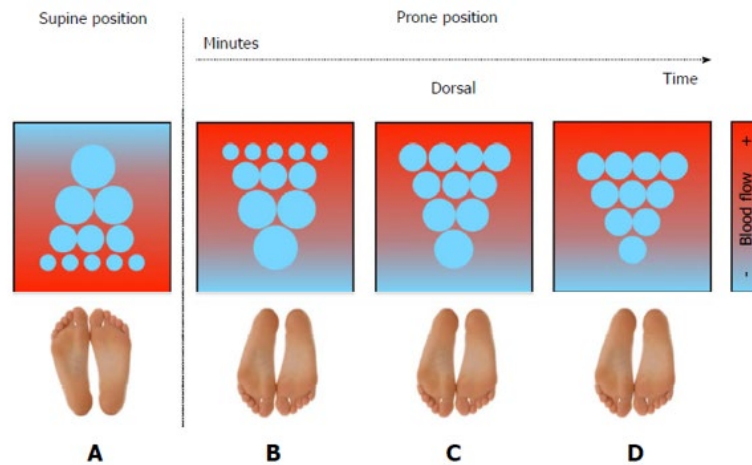


Figure 3 : Effets du DV sur le SDRA : Evolution de la ventilation et de la perfusion. A : La zone dorsale du poumon contient plus d'alvéoles que la zone ventrale et est mieux perfusée. En DD, cette région est moins bien ventilée due aux effets de compressions, contrairement à la zone ventrale. B : Immédiatement après avoir été installé en DV, la répartition de la ventilation ne varie pas. C : Le recrutement au niveau dorsal se fait progressivement dans le temps ; il est plus important que le dérecrutement ventral. La zone dorsale reste la mieux perfusée. D : La perfusion ne varie pas. La pression transpulmonaire et la répartition de la ventilation deviennent plus harmonieuses dans le temps. Ceci amène une meilleure oxygénation par une amélioration du rapport V/Q. Tiré et adapté de Koulouras et al., 2016.

2.1.1.2.1 REPONDEURS VS NON-REPONDEURS

Les patients peuvent être classés en répondeurs ou non-répondeurs au DV, selon les variations du rapport PaO_2/FiO_2 . Pour être répondeur, il faut avoir une amélioration minimale de 20% ou de 20mmHg de ce rapport (Koulouras et al., 2016).

Les répondeurs sont ensuite classés en persistants ou non-persistants selon le maintien de l'oxygénation une fois remis en DD (Koulouras et al., 2016). Différents scénarios sont possibles :

- Persistants : ils présentent une meilleure oxygénation par rapport à la valeur de base en dorsal
- Non-persistants : ils affichent une détérioration de l'oxygénation par rapport au ventral. Si celle-ci entraîne une hypoxémie grave, ils doivent être remis sur le ventre et sont donc dépendants du DV.

Cela dit, les effets du DV peuvent varier d'un jour à l'autre et aussi durant le positionnement (Koulouras et al., 2016).

2.1.1.2.2 DUREE DU POSITIONNEMENT

Actuellement, aucune étude n'a pu déterminer la durée optimale de maintien du DV (Scholten et al., 2017). Cependant, diverses sociétés savantes, telles que "The Society of Critical Care Medicine", "the American Thoracic Society" et "the European Society of Intensive Care Medicine", préconisent de maintenir la position pendant 12 à 16 heures chez les patients intubés et ventilés atteints d'un SDRA (Wiggermann et al., 2020). Généralement, les effets du DV apparaissent en moins d'une heure mais peuvent survenir jusqu'à 4 heures après la mise en DV (Roche-Campo et al., 2011).

2.1.1.3 Effets du positionnement en ventilation mécanique

En DD, en ventilation mécanique, le volume gazeux va préférentiellement se répartir dans les zones antérieures du poumon, car elles sont plus compliantes (Varpula et al., 2003). Cela risque de créer un barotraumatisme par surdistension alvéolaire, d'autant plus que cette région contient moins d'alvéoles que la région dorsale (Dardeir et al., 2020). En DV, l'homogénéisation de la ventilation limite les risques de lésions du parenchyme pulmonaire. De plus, l'amélioration résultante de l'oxygénation permet de diminuer les paramètres de ventilation, comme la FiO₂ et le niveau de PEP délivrée. Ceci peut aussi limiter les risques de lésions induites par le ventilateur (Corte et al., 2020; Koulouras et al., 2016).

Le changement de position favorise également le drainage des sécrétions. En effet, en DV, la gravité entraîne les sécrétions plus antérieurement vers la trachée (Dardeir et al., 2020). Ce drainage permet de diminuer le risque de pneumonie associée au ventilateur (Koulouras et al., 2016).

2.1.2 INDICATIONS ET CONTRE-INDICATIONS DU DÉCUBITUS VENTRAL

Le DV est indiqué pour des patients atteints d'un SDRA avec un rapport PaO₂/FiO₂ < 150 mmHg (Papazian et al., 2019 ; Roca et al., 2021). Cependant, chez les patients atteints d'un SDRA lié au Covid-19, Fossali et al. (2022) n'ont observé aucune corrélation entre le degré de sévérité de la maladie et l'efficacité du DV sur l'hypoxémie et le recrutement alvéolaire. Les auteurs proposent donc d'étendre l'indication du DV aux patients présentant une hypoxémie modérée, soit une PaO₂/FiO₂ ≤ 200mmHg.

Le DV comporte des contre-indications dont deux absolues, selon Koulouras et al. (2016) :

- Une pression intracrânienne élevée (> 20 mmHg)
- Une fracture vertébrale instable

D'autres relatives :

- Des traumatismes faciaux ou de la nuque (Koulouras et al., 2016)
- Un risque accru de réanimation cardiopulmonaire (Dardeir et al., 2020)
- Une instabilité hémodynamique importante (Koulouras et al., 2016)
- Un risque d'intubation imminente (Koulouras et al., 2016)
- Des vomissements récurrents chez des patients non-intubés (McGurk et al., 2020)
- Des hémoptysies (Scholten et al., 2017).

2.1.3 LE DÉCUBITUS VENTRAL EN VENTILATION SPONTANÉE DANS LE COVID-19

Depuis la crise sanitaire liée au Covid-19, l'utilisation du DV s'est généralisée aux patients hypoxémiques, non sédatisés et non intubés, traités par oxygénothérapie ou par assistance ventilatoire non invasive. Son utilisation a été justifiée par une diminution du risque d'intubation (Jagan et al., 2020; McGurk et al., 2020). Cependant, les dernières recommandations de la « Surviving Sepsis Campaign Covid-19 », datant du 29 janvier 2021, ne préconisent pas l'utilisation du DV chez les patients atteints du Covid 19 par manque d'évidence scientifique (Society of Critical Care Medicine and European Society of Intensive Care Medicine, 2021).

Dans une revue systématique incluant 46 articles, comparant le taux d'intubation et de mortalité chez les patients traités avec le DV vs avec des soins standards (oxygénothérapie, pression positive continue (CPAP), aide

inspiratoire), Pavlov et al. (2022) n'ont montré aucune différence significative entre les 2 groupes. Toutefois, les auteurs soulignent différentes observations :

- Au niveau physiologique : Par rapport au DD, ils notent une diminution de la fréquence respiratoire, une absence de modification de la PaCO₂ et une amélioration de la PaO₂ et du rapport PaO₂/FiO₂ de plus de 20%, celle-ci souvent maintenue lors du retour en DD.
- Au niveau de la tolérance : Ils remarquent que la position DV est généralement supportée pendant plus de 4 heures par jour.
- Au niveau du confort : Ils observent la présence de maux de dos, d'une dyspnée ou encore d'une sensation de malaise général chez certains patients. Le degré de tolérance au DV observé dans 15 articles varie de 47 à 100%.

Wendt et al. (2021) ont mené une étude sur le DV chez 31 patients atteints du Covid-19, le but étant d'observer les effets sur la SpO₂. Pour être inclus dans l'étude, les sujets devaient être capables de tolérer le DV pendant plus de 30 minutes, avoir une SpO₂ à air ambiant < 90% et < 94% sous oxygène en DD. Le DV a entraîné une amélioration significative de 5% [IQR, 4%-9%] de la SpO₂. Les médianes de SpO₂ étaient de 83% [IQR, 75%-86%] à air ambiant en DD, de 90% [IQR, 89%-93%] sous oxygène, toujours en DD, et de 96% [QR, 94%-98%] en DV avec de l'oxygène. Cette augmentation de SpO₂ arrive, en général, après 30 minutes environ de DV.

Pierruci et al. (2021) ont analysé l'efficacité du DV chez des patients atteints du Covid-19 avec un rapport PaO₂/FiO₂ > 150mmHg, l'objectif étant d'observer sa tolérance. Ils ont comparé, entre deux groupes de 16 patients, l'application du DV avec un masque Venturi [FiO₂ 57 % (±7)], avec des traitements respiratoires non-invasifs traditionnels comme la pression positive continue, l'aide inspiratoire ou l'oxygénothérapie à haut débit [FiO₂ 59 % (±13)]. 3 patients n'ont pas toléré le DV pour une question de confort. Les deux groupes ont présenté des résultats similaires au niveau de la PaO₂ [DV = 142 (±62) mmHg vs contrôle = 127 (±27) mmHg, p = 0,46]. La durée d'hospitalisation a été plus courte dans le DV [17 (±5) vs 25 (±6) jours, p = 0,04]. De plus, aucun patient en DV n'est décédé 1 à 6 mois après l'hospitalisation.

2.2 Position tripode

Durant la pandémie de Covid-19, la position ventrale n'a pas été tolérée par certains patients pour une question de confort. En effet, dans l'étude de Jagan et al. (2020), seuls 40 patients sur 105 l'ont supportée. Ces difficultés ont donc motivé certaines équipes à trouver des alternatives au DV, comme la position tripode ou position du penseur de Rodin. Cette position appliquée chez des patients éveillés, sous oxygénothérapie ou sous ventilation non invasive, permet de maintenir les avantages physiologiques du DV, tout en étant plus confortable (Coppo et al., 2021; Uy et al., 2021). En effet, elle peut être tolérée jusqu'à 20h par jour (Uy et al., 2021). Par ailleurs, elle comporte aussi l'avantage de mobiliser moins de personnel pour sa mise en place (Coppo et al., 2021).

Elle peut être appliquée de différentes manières (Rauseo et al., 2021; Uy et al., 2021). La première consiste à être assis, buste appuyé contre une surface plane surélevée, bras croisés, tête appuyée sur les bras, afin d'obtenir une position semi-assise (*Figure 4*). La deuxième consiste à appuyer ses coudes sur ses genoux et à tenir sa tête entre ses mains (*Figure 5*). La dernière est de poser ses mains sur ses genoux, position similaire à celle adoptée naturellement par les patients dyspnéiques (*Figure 6*).



Figure 4 : positionnement d'un volontaire en position tripode

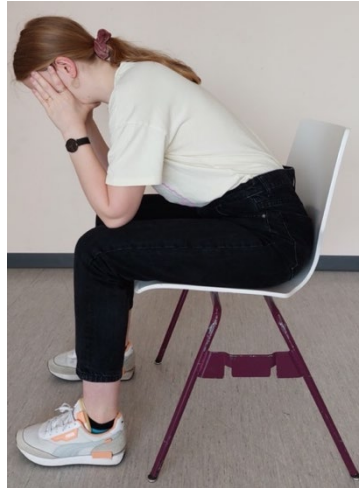


Figure 5 : deuxième alternative de la position tripode

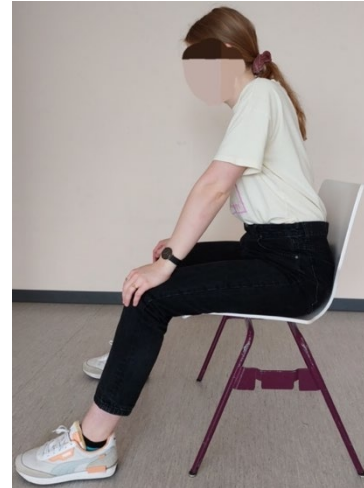


Figure 6 : troisième alternative de la position tripode

La pression artérielle en CO₂ et le pH n'ont montré aucune différence significative lors de l'application de la position tripode par rapport au DD (Coppo et al., 2021). En revanche, une amélioration de la PaO₂ similaire au DV a été observée, amélioration maintenue après le retour du patient en DD. D'autres améliorations ont été relevées, telles qu'une augmentation du rapport PaO₂/FiO₂ et une diminution de la dyspnée. Ceci a permis de diminuer la FiO₂ ou les niveaux de pression en ventilation non invasive. Par ailleurs, la position tripode a également permis de retarder ou d'éviter l'intubation chez certains patients. (Coppo et al., 2021; Rauseo et al., 2021; Uy et al., 2021)

A l'heure actuelle, les mécanismes d'amélioration de l'oxygénation dans la position tripode n'ont pas été investigués, mais plusieurs hypothèses ont été avancées. Celles-ci sont l'inversion du gradient gravitationnel, la diminution de la compression abdominale du diaphragme, l'amélioration de la CRF ainsi qu'une diminution de la pré-charge cardiaque (Coppo et al., 2021). À ce jour, aucun effet secondaire n'a été relevé (Coppo et al., 2021; Uy et al., 2021).

2.3 La tomographie par impédance électrique

La tomographie par impédance électrique (EIT) est une technique d'imagerie médicale non-ionisante permettant une imagerie de surveillance continue et dynamique. Cette technique permet d'observer la ventilation pulmonaire globale et régionale, dont les variations du volume pulmonaire en fin d'expiration (Kotani et al., 2016; Parke et al., 2015; Puel et al., 2020; Teschner & Imhoff, 2010). À ce jour, aucun effet secondaire n'a été relevé (Corte et al., 2020; Puel et al., 2020; Teschner & Imhoff, 2010).

2.3.1 PULMOVISTA 500®

Le PulmoVista 500® (Dräger Medical, Drägerwerk AG, Lübeck, Germany) (Figure 7) est un appareil de mesure de tomographie par impédance électrique qui peut être utilisé au chevet du patient. Il est le premier appareil d'EIT qui donne continuellement des images graphiques de la répartition de la ventilation ainsi que les variations du volume pulmonaire en fin d'expiration. Il est donc possible de visualiser la dynamique pulmonaire au sein de chaque cycle respiratoire ou de comparer plusieurs cycles respiratoires consécutifs ou non. Le PulmoVista 500® permet d'enregistrer des données durant deux heures ou par tranches de 30 secondes à 10 minutes, selon le choix

de l'utilisateur. Les données enregistrées peuvent ensuite être visualisées directement sur la machine ou sur un ordinateur à l'aide du programme informatique Dräger EIT Data Analysis tool 6.1, par transfert USB. (Elmaleh et al., 2021; Teschner & Imhoff, 2010). Les mesures sont prises grâce à une ceinture composée de 16 électrodes qui est placée entre le 4e et 6e espace intercostal sur la ligne mi-claviculaire. Une électrode de référence est placée sur l'abdomen. Trois tailles de ceintures sont disponibles et permettent de prendre des mesures chez des patients avec une circonférence de poitrine entre 70 et 150cm (Puel et al., 2020; Teschner & Imhoff, 2010; Tomasino et al., 2020).

2.3.1.1 Principes de mesure

Le PulmoVista 500® génère un courant alternatif à une fréquence comprise entre 80 et 130 kHz sur deux électrodes adjacentes. La réception de ce courant est ensuite mesurée par les autres électrodes après le passage dans les tissus, c'est la bio-impédance (Teschner & Imhoff, 2010). Ceci correspond à la résistance d'un tissu biologique à un courant alternatif. La composition du tissu biologique, dans ce cas le tissu pulmonaire, possède des caractéristiques d'impédance bien précises. Quand le volume pulmonaire augmente, la mesure d'impédance augmente également (Elmaleh et al., 2021; Kotani et al., 2016; Parke et al., 2015; Teschner & Imhoff, 2010). Lorsque les mesures d'impédance des deux premières électrodes ont été enregistrées, les deux électrodes adjacentes génèrent à leur tour un courant et les autres le captent, et ainsi de suite tout autour du thorax. Le processus sera répété quinze fois en 1,25 millièmes de seconde, en décalant à chaque fois d'un cran la paire d'électrodes générant le courant. Toutes les valeurs ensuite assemblées constituent une image EIT transversale (*Figure 8*) (Elmaleh et al., 2021; Teschner & Imhoff, 2010).



Figure 7 : PulmoVista 500®. Tiré de Teschner et Imhoff, 2010, p.18

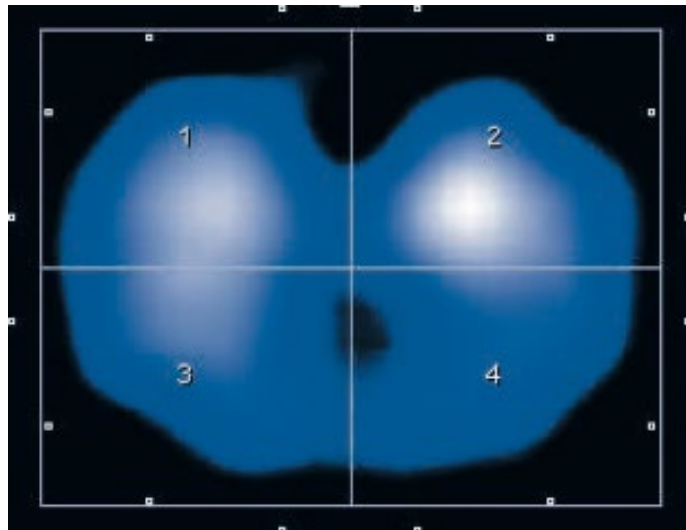


Figure 8 : image EIT transversale avec régions délimitées par cadrans. Tiré de Teschner et Imhoff, 2010, p.78

L'impédance pulmonaire varie donc en fonction du volume d'air. Une inspiration complète du volume résiduel au volume de réserve inspiratoire, va augmenter l'impédance de 300%. En revanche, l'activité cardiaque et les modifications de perfusion pulmonaire ne font varier l'impédance que de 3%. Un filtre permet de supprimer ces artéfacts cardiaques et de ne mesurer que la ventilation pulmonaire. (Elmaleh et al., 2021; Teschner & Imhoff, 2010)

Les images EIT représentent la répartition du volume courant dans un seul plan transversal. La coupe pulmonaire mesurée par le PulmoVista 500® représente 10 à 30% de la totalité du poumon (Kotani et al., 2016; Parke et al., 2015; Teschner & Imhoff, 2010), principalement les régions pulmonaires juxta-diaphragmatiques. C'est dans celles-ci que se produisent majoritairement les atélectasies et le recrutement alvéolaire (Teschner & Imhoff, 2010).

La vitesse de production d'images de 50 hertz permet de couvrir la mécanique pulmonaire même en cas de fréquence respiratoire élevée. L'image délivrée par le PulmoVista 500® est réactualisée après chaque cycle respiratoire. Ainsi, on peut observer en direct la différence de volume entre le début et la fin de l'inspiration. Plus le poumon est ventilé, plus l'impédance est élevée et plus l'image est blanche. A contrario, les zones pulmonaires moins ventilées apparaissent du bleu au noir selon leur niveau d'impédance (*Figure 8*).

Une autre caractéristique de l'image fournie par le PulmoVista 500®, est qu'elle peut être divisée en différentes régions. En effet, l'utilisateur peut choisir de la séparer en 4 quadrants (*Figure 8*). Les deux quadrants supérieurs représentent les régions antérieures gauche et droite du poumon et les quadrants postérieurs les régions dorsales gauche et droite. Cela permet de visualiser la répartition de la ventilation par quadrant. Il est aussi possible de diviser l'image en 4 couches horizontales, la première couche étant la zone la plus antérieure du poumon et la dernière la plus dorsale. Finalement, il est possible d'isoler manuellement des zones de l'image. Cette fonction pionnière en EIT permet d'observer le caractère hétérogène des régions pulmonaires dans des conditions dynamiques. (Elmaleh et al., 2021; Teschner & Imhoff, 2010; Tomasino et al., 2020)

2.3.1.2 Indications

L'EIT peut être utilisée durant : la ventilation mécanique invasive ; la ventilation non invasive ; la respiration spontanée sans assistance mécanique. Ceci est possible dans n'importe quelle position, tant que celle-ci permet un maintien stable de la ceinture d'électrodes. (Elmaleh et al., 2021; Teschner & Imhoff, 2010)

Plusieurs études ont montré que l'EIT permet d'observer les changements régionaux de la ventilation pulmonaire après des manœuvres de recrutement. Le niveau de PEP peut aussi être adapté à chaque patient grâce à elle. Elle sert également à déterminer la répartition de la ventilation lors de changements de position (Caruana et al., 2015; Corte et al., 2020; Kotani et al., 2016; Puel et al., 2020; Teschner & Imhoff, 2010; Tomasino et al., 2020). Certaines études expérimentales ont montré que les premiers signes de pneumothorax ou de dérecrutement alvéolaire liés à un SDRA, un épanchement pleural ou des aspirations endotrachéales pourraient être observés par l'EIT (Elmaleh et al., 2021; Tomasino et al., 2020). Elle est aussi un outil utile pour identifier les patients répondeurs au DV (Teschner & Imhoff, 2010), notamment chez des patients atteints du Covid-19 (Tomasino et al., 2020).

2.3.1.3 Contre-indications

Le PulmoVista 500® pouvant créer des interférences, il ne doit pas être utilisé (Teschner & Imhoff, 2010; Tomasino et al., 2020) :

- Chez des patients possédant un stimulateur cardiaque, un défibrillateur cardiovertible implantable ou tout autre implant actif
- En même temps que certains appareils électromédicaux
- En présence de puissants champs magnétiques comme une IRM
- En même temps qu'un défibrillateur

Afin de garantir une bonne qualité de signal, la ceinture doit être placée (Teschner & Imhoff, 2010) :

- Sur une peau sans lésion, inflammation, ni pansements
- Chez des patients sans lésions ou fractures spinales instables
- Chez des patients avec un IMC inférieur à 50

3 PROBLEMATIQUE

Historiquement, le DV est utilisé dans le traitement du SDRA chez des patients sédatisés, intubés et ventilés (Wendt et al., 2021). Il a un effet bénéfique sur l'oxygénation artérielle et permet de limiter les risques de lésions pulmonaires liées à la ventilation mécanique. Pendant la crise du Covid-19, l'utilisation de cette technique a été élargie aux patients non intubés en respiration spontanée (Roche-Campo et al., 2011). Cependant, devant l'inconfort que peut constituer la position ventrale chez certains malades, des équipes ont proposé une nouvelle position, la position tripode. Outre une augmentation de la tolérance, cette position apporte également une amélioration de la PaO₂ similaire au DV (Coppo et al., 2021 ; Uy et al., 2021).

Il existe différents mécanismes physiologiques qui peuvent expliquer les effets du DV sur l'oxygénation, notamment le recrutement alvéolaire des zones dorsales du poumon (Corte et al., 2020). Ceux-ci sont largement présentés dans la littérature (Koulouras et al., 2016). Par contre, concernant la position tripode, aucune étude, à l'heure actuelle, n'a pu déterminer les différents mécanismes liés à l'amélioration de l'oxygénation. Quelques hypothèses telles que l'inversion du gradient gravitationnel, la diminution de la compression abdominale du diaphragme ou encore une diminution de la pré-charge cardiaque ont été proposées (Coppo et al., 2021).

Une autre hypothèse avancée pour expliquer les effets similaires du DV et de la position tripode sur l'oxygénation (Coppo et al., 2021) est la corrélation existante entre l'augmentation de la PaO₂ et l'augmentation de la CRF (Lambermont et al., 2008). À notre connaissance et à ce jour, aucune étude n'a cherché à comparer l'effet de la position tripode et du DV sur la CRF. L'objectif de notre travail est donc, dans un premier temps, de comparer l'effet des changements de position DD-DV et DD-T sur le volume pulmonaire en fin d'expiration, mesuré par la tomographie par impédance électrique chez des volontaires sains. Dans un second temps, de comparer la répartition des volumes pulmonaires en fin d'inspiration dans les changements de position DD-DV et DD-T. Dans un troisième temps, d'évaluer le confort des sujets selon une échelle numérique dans les positions décubitus ventral, position tripode et décubitus dorsal.

Notre question de recherche est la suivante : Par rapport au décubitus dorsal, la position tripode a-t-elle un effet identique au décubitus ventral, sur le volume pulmonaire en fin d'expiration chez des volontaires sains ?

4 MATERIEL

Les mesures de tomographie par impédance électrique ont été effectuées via une ceinture d'électrodes reliée au PulmoVista 500® (Dräger Medical, Drägerwerk AG, Lübeck, Germany). Ce matériel nous a été mis à disposition par le service des soins-intensifs des cliniques universitaires Saint-Luc à Bruxelles, en Belgique. Une table de traitement standard de physiothérapie et une chaise ont été utilisées pour appliquer les différentes positions. Un goniomètre a servi à contrôler l'inclinaison du tronc de chaque volontaire durant la position tripode ainsi que la position du dossier de la table durant le DD. Afin de garantir l'emplacement de la ceinture d'électrodes durant les changements de position, des repères sur le thorax ont été effectués à l'aide d'un crayon dermatographique. Finalement, les données ont été extraites du PulmoVista 500® et analysées sur un ordinateur grâce au programme informatique Dräger EIT Data Analysis tool 6.1.



Figure 9 : installation d'un volontaire en décubitus ventral

5 METHODE

5.1 Design de l'étude

Notre étude quasi-expérimentale en cross-over a été effectuée aux Cliniques Universitaires Saint-Luc entre novembre et décembre 2021.

5.2 Sujets

Les sujets ont été recrutés parmi les stagiaires et le personnel de physiothérapie des cliniques.

Les critères d'inclusion étaient : être du sexe masculin et âgé de plus de 18 ans, avoir un indice de masse corporel (IMC) inférieur à 50kg/m² et une circonférence de poitrine comprise entre 70 cm et 150 cm. En outre, chaque sujet devait avoir signé un formulaire de consentement éclairé pour participer à l'étude.

Les critères d'exclusion étaient : la présence d'une instabilité vertébrale, d'une pathologie cardio-pulmonaire, d'une déformation de la cage thoracique, de lésions cutanées sur le thorax, d'un implant électrique (par exemple pacemaker), d'une pression intracrânienne élevée, d'une instabilité hémodynamique et de dysrythmies cardiaques.

Notre échantillonnage est constitué de 10 sujets sains, il a été fait par convenance.

5.3 Déroulement de l'étude

Tout au long de l'étude, deux investigatrices, EA et DS, étaient présentes. Les sujets ont été accueillis et le déroulement de l'expérience leur a été réexpliqué par DS. En effet, lors du recrutement, une brève explication leur avait été faite. Ils ont ensuite reçu une lettre d'information récapitulative expliquant le déroulement de l'étude (cf. Annexe I), le formulaire de consentement éclairé (cf. Annexe II) et un questionnaire (cf. Annexe III). Il leur a été demandé de les lire attentivement, de les remplir et de poser des questions s'ils en avaient. EA a pu vérifier que les participants répondaient aux critères grâce au questionnaire.

DS a mesuré la circonférence de la poitrine des sujets entre le 4^e et 6^e espace intercostal et choisi la taille de la ceinture. Elle l'a ensuite aspergée de spray conducteur et placée entre le 4^e et le 6^e espace intercostal sur la ligne mi-claviculaire. Une électrode de référence a été collée par DS sur l'abdomen. Des marques au crayon dermatographique ont été dessinées par DS sur le thorax, aux limites de la ceinture, en 4 points : 2 antérieurement et 2 postérieurement. Ceci afin de pouvoir s'assurer qu'elle ne se soit pas déplacée durant les changements de position. Pendant ce temps, EA a lancé le calibrage automatique du PulmoVista 500® selon les recommandations du fabricant. Une fois celui-ci terminé, la ceinture de 16 électrodes a été connectée au PulmoVista 500® et la qualité du signal a été vérifiée sur l'écran du PulmoVista 500® par EA.

Après l'installation, l'expérimentation a pu commencer. Les sujets ont été positionnés dans trois positions différentes : le DD, la position tripode et le DV. La position tripode et le DV sont les positions testées et le DD la position de référence permettant une remise à niveau avant, entre et après les positions testées. L'expérimentation est constituée de 5 séquences de 10 minutes chacune. Selon Caruana et al. (2015), chez des sujets sains, il faut 10 minutes pour que les paramètres se stabilisent lors de changement de position dans un plan antéro-postérieur. Nous

avons alors appliqué les 10 minutes nécessaires. Les deux dernières minutes de chaque position ont été enregistrées. La durée totale de l'expérimentation a donc été de 50 minutes. L'ordre des positions a été le suivant :

- Séquence 1, position DD.
- Séquence 2, position DV ou en T, selon la randomisation.
- Séquence 3, position DD.
- Séquence 4, position restante entre le DV ou T, selon la position faite lors de la séquence 2.
- Séquence 5, position DD.

La randomisation de l'ordre des positions entre la position tripode et le DV a été faite avec le programme internet disponible sur « www.randomizer.org ».

Chaque position était standardisée pour tous les volontaires :

En DD (*Figure 10*), le dossier de la table était incliné de 30°. L'inclinaison a été mesurée à l'aide d'un goniomètre manuel par EA. Il était demandé aux sujets de garder leurs bras le long du corps durant toute cette séquence. Un coussin a été placé par DS sous leurs nuques pour une question de confort.

En position tripode (*Figure 11*), les sujets étaient assis sur une chaise. Leurs poitrines reposaient sur la table se trouvant face à eux. Leurs torses avaient une inclinaison de 60°. L'angle a été mesuré par EA avec un goniomètre entre l'horizontal de leurs jambes et leurs têtes humérales. Leurs bras étaient croisés et posés sur la table. Leurs têtes devaient être posées sur leurs bras croisés.

En DV (*Figure 12*), les sujets avaient les bras le long de leur corps, leurs têtes tournées du côté de leur choix, reposant sur un coussin percé. Le dossier de la table était totalement abaissé, la table entière avait donc une inclinaison de 0°.

Il a été donné comme consigne aux participants de respirer normalement durant les différentes positions. Notons que pour respecter les directives Covid-19 du service, les sujets respiraient à travers un masque chirurgical recouvrant leurs nez et leurs bouches durant toute la durée de l'expérimentation.

Au début de chaque séquence, la position et la ceinture ont été contrôlées par DS. À la 6^e minute de chaque séquence, les sujets devaient évaluer leur confort sur une échelle numérique graduée de 0 à 10 présentée par DS (10 = extrêmement confortable et 0 = très inconfortable).



Figure 10 : position décubitus dorsal (DD)



Figure 11 : position tripode (T)

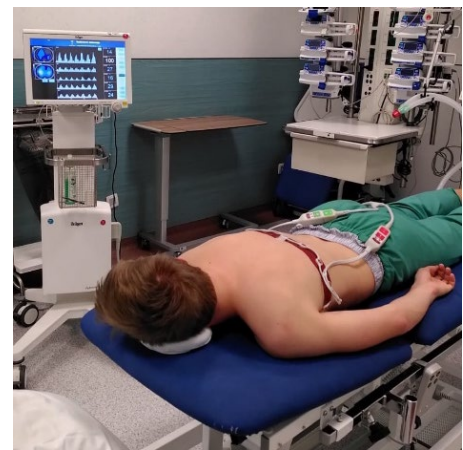


Figure 12 : position décubitus ventral (DV)

5.4 Paramètres mesurés

Le premier paramètre mesuré dans notre étude est l'impédance électrique en fin d'expiration mesurée par le PulmoVista 500®. Celle-ci représente le volume pulmonaire en fin d'expiration (Reychler et al., 2019). Dans chaque position, maintenue 10 minutes, seules les 2 dernières minutes ont été enregistrées. À l'aide du programme d'analyse, Dräger EIT Data Analysis tool 6.1 fourni avec le PulmoVista 500®, nos données ont été converties en tableaux Excel. Les valeurs minimales sont répertoriées dans une colonne avec le chiffre -1 et les valeurs maximales avec le chiffre 1. Les valeurs minimales représentent l'impédance électrique en fin d'expiration et les valeurs maximales l'impédance électrique en fin d'inspiration de tous les cycles respiratoires. Nous avons sélectionné les 10 dernières valeurs minimales de l'enregistrement de chaque volontaire, dans chaque position, pour nos analyses statistiques.

Dans les mêmes tableaux Excel, la répartition de la ventilation est répertoriée dans 4 colonnes. Chaque colonne correspond à un quadrant. En effet, le PulmoVista 500® exprime en pourcentage la répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration des différents quadrants. Les deux premières colonnes correspondent à la partie antérieure des deux poumons (quadrants 1 et 2), les deux dernières correspondent à la partie postérieure des deux poumons (quadrants 3 et 4). Nous avons sélectionné les 10 dernières valeurs de chaque colonne, de chaque volontaire, dans chaque position, pour nos analyses statistiques.

Pour le confort, les réponses à l'échelle numérique de chaque volontaire pour les trois positions ont été reportées dans un tableau Excel.

A l'aide des données recueillies nous avons comparé :

- Les données d'impédance en fin d'expiration entre le DD et les positions testées (DV ou position tripode (T))
- Les différences d'impédance en fin d'expiration entre les changements de position DD-DV vs DD-T
- La répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration entre le DD et les positions testées (DV ou position tripode)
 - o Dans les zones pulmonaires antérieures (poumon droit + poumon gauche)
 - o Dans les zones pulmonaires postérieures (poumon droit + poumon gauche)
- Les différences de répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration dans les changements de position DD-DV vs DD-T
 - o Dans les zones pulmonaires antérieures (poumon droit + poumon gauche)
 - o Dans les zones pulmonaires postérieures (poumon droit + poumon gauche)
- Les résultats de l'échelle numérique de confort de chaque position

Pour mesurer les différences d'impédance en fin d'expiration dans les changements de position DD vs DV et DD vs T, nous avons calculé la différence entre les 100 valeurs (10 valeurs des 10 volontaires) des positions testées et les 100 valeurs du DD les précédant. Cette différence, si elle est positive, représente l'amélioration du volume pulmonaire en fin d'expiration dans la position testée. Si elle est négative, elle objective une péjoration du volume pulmonaire en fin d'expiration dans la position testée. Ces différences d'impédance nous permettent donc d'évaluer les effets des positions (DV ou position tripode) sur l'impédance. Nous avons ensuite comparé les

différences des changements de position DD-DV vs DD-T afin de savoir si un changement de position avait plus d'effets sur l'impédance que l'autre.

Pour mesurer la répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration dans les zones pulmonaires antérieures, nous avons d'abord additionné les valeurs des quadrants supérieurs 1 et 2, représentant la partie antérieure du poumon droit et du poumon gauche (*Figure 8*). Afin de mesurer les différences de cette répartition dans les changements de position DD vs DV et DD vs T, nous avons d'abord calculé la différence entre les 100 valeurs de la région antérieure de la position testée et les 100 valeurs de la région antérieure du DD la précédant. Cette différence, si elle est positive, représente une augmentation de la répartition du volume pulmonaire dans les régions antérieures dans la position testée par rapport au DD. Si elle est négative, elle représente une diminution de la répartition du volume pulmonaire dans les régions antérieures dans la position testée par rapport au DD. Ces différences nous permettent donc d'évaluer les effets des positions (DV ou position tripode) sur la répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration dans les zones pulmonaires antérieures. Nous avons finalement comparé les différences des changements de position DD-DV vs DD-T afin de savoir si un changement de position avait plus d'effets sur la répartition du volume pulmonaire dans les régions antérieures que l'autre.

Pour mesurer la répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration dans les zones pulmonaires postérieures, nous avons d'abord additionné les valeurs des quadrants supérieurs 3 et 4, représentant la partie postérieure du poumon droit et du poumon gauche (*Figure 8*). Ensuite, la même démarche que pour la répartition du volume pulmonaire dans les zones antérieures a été effectuée.

Pour les analyses statistiques du confort, les 10 résultats de l'échelle numérique de confort dans les trois positions ont été comparés.

5.5 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel Stata (Stata/IC 14.1 pour Windows ; StataCorp LP). Les caractéristiques des sujets sont exprimées par la moyenne et l'écart-type (ET). Les valeurs d'impédance du volume en fin d'expiration et les pourcentages de la répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration sont rapportés en médianes avec intervalles interquartiles à 25 et 75% [IQR 25-75].

Le Wilcoxon signed-rank test a comparé les effets des changements de position entre le DD et les positions testées (DV ou position tripode) sur l'impédance du volume en fin d'expiration et sur le pourcentage de répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration.

Le Wilcoxon rank-sum test (Mann-Whitney) a comparé les effets des changements de position DD-DV vs DD-T sur l'impédance du volume en fin d'expiration et sur le pourcentage de répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration.

Les résultats de l'échelle numérique de confort pour chaque position (DD, DV, T) sont exprimés par la moyenne et l'écart-type.

La comparaison des effets du positionnement sur l'échelle numérique de confort a été faite par le test ANOVA. Le test post-hoc de Scheffé a ensuite été appliqué afin de comparer les positions deux à deux. Si le test de Bartlett donnait un résultat significatif ($p < 0,05$), la comparaison des effets du positionnement a été faite par le test de Kruskal-Wallis. Le Wilcoxon rank-sum test a ensuite été appliqué afin de comparer les positions deux à deux.

Une différence a été considérée comme statistiquement significative quand la “p-value” était inférieure à 0,05.

6 RESULTATS

6.1 Sujets

Dix volontaires sains ont été inclus dans l'étude après application des critères d'inclusion et d'exclusion. Les caractéristiques anthropométriques des sujets sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : caractéristiques anthropométriques des sujets

Sujets	Âge (années)	Taille (cm)	Poids (kg)	IMC (kg/m ²)
1	22	178	66	20,8
2	28	177	65	20,7
3	21	189	82	23
4	24	168	57	20,2
5	25	172	65	22
6	20	188	76	21,5
7	28	179	74	23,1
8	24	190	70	19,4
9	21	173	62	20,7
10	21	183	73	21,8
Moyenne ± ET	23,4 ± 2,9	179,7 ± 7,6	69 ± 7,4	21,3 ± 1,2

IMC = indice de masse corporelle, ET = écart-type

6.2 Effets des changements de position sur l'impédance en fin d'expiration

Tableau 2 : médianes et IQR 25-75 des impédances en fin d'expiration dans les différentes positions

	DD pré-DV (Ω)	DV (Ω)	p value DD-DV	DD pré-T (Ω)	T (Ω)	p value DD-T
Médiane	425,2	392,5	0,43	446,7	988,5	< 0,001
Interquartiles	[254,0 – 527,5]	[307,0 – 660,9]		[326,6 – 607,1]	[644,2 – 1258,1]	

DD pré-DV = DD précédent le DV, DD pré-T = DD précédent la position tripode, Ω = unité de mesure de l'impédance

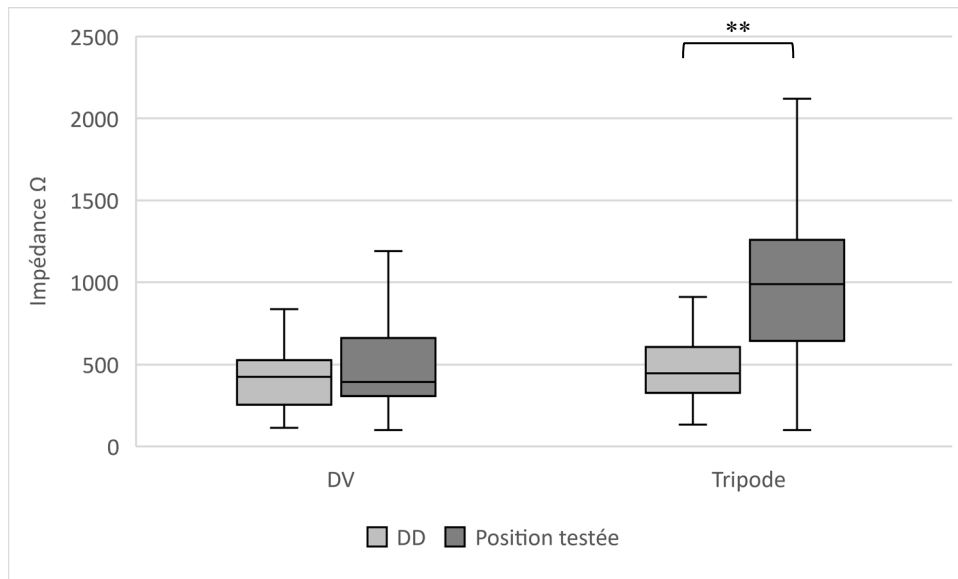


Figure 13 : Effets des changements de position sur l'impédance avec médianes, intervalles interquartiles, impédances minimales et impédances maximales. ** = $p < 0,001$

6.2.1 DD vs DV

Le changement de la position DD à la position DV montre une diminution non significative de l'impédance en fin d'expiration, respectivement 425,2 [254 – 527, 2] vs 392, 5 [307 – 660, 9], $p = 0,43$. Tableau 2.

6.2.2 DD vs POSITION TRIPODE

Le changement de la position DD à la position tripode montre une augmentation significative de l'impédance en fin d'expiration, respectivement 446,7 [326,6 – 607,1] vs 988,5 [644,2 – 1258,1], $p < 0,001$. Tableau 2.

6.2.3 COMPARAISON DES VARIATIONS D'IMPÉDANCE EN FIN D'EXPIRATION EN FONCTION DES CHANGEMENTS DE POSITION DD-DV vs DD-T

La variation d'impédance en fin d'expiration du changement de position DD-T est significativement plus importante que celle observée lors du changement de position DD-DV, respectivement 515,4 [45,3 – 794,4] vs 32,9 [-160,3 – 201], $p < 0,001$. Tableau 3.

Tableau 3 : variations d'impédance des changements de position DD-DV et DD-T

	Δ DD-DV (Ω)	Δ DD-T (Ω)	p value
Médiane	32,9	515,4	< 0,001
Interquartiles	[-160,3 – 201,0]	[45,3 – 794,4]	

Δ = différence, Ω = unité de mesure de l'impédance

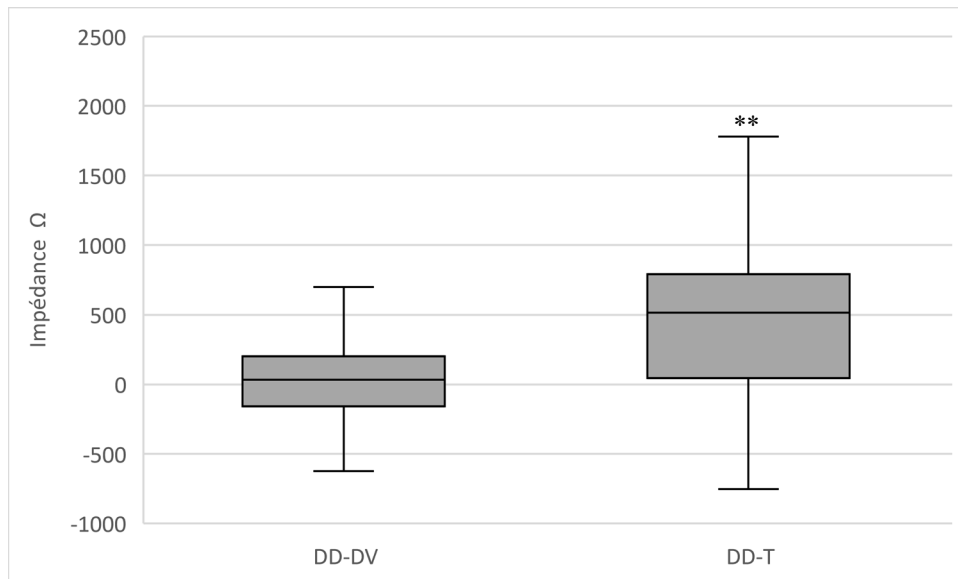


Figure 14 : Comparaison des effets des changements de position sur l'impédance avec médianes, intervalles interquartiles, impédances en fin d'expiration minimales et impédances en fin d'expiration maximales. ** = $p < 0,001$

6.3 Effets des changements de position sur le pourcentage de répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration

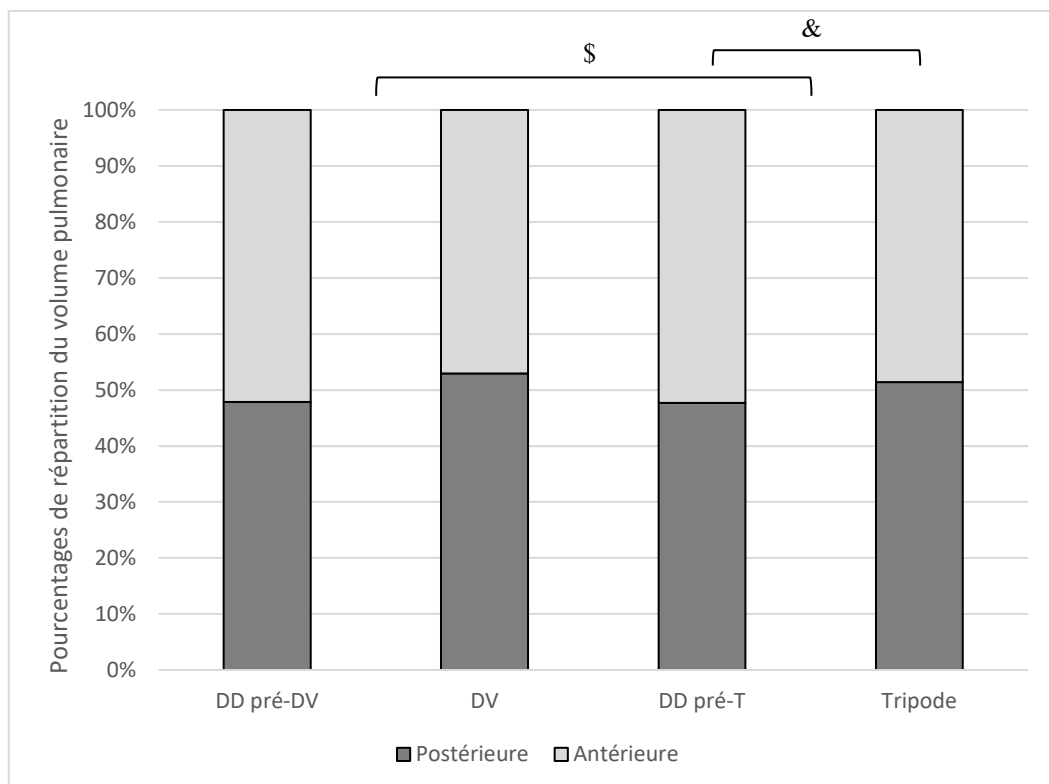


Figure 15 : Effets des changements de position sur le pourcentage de répartition du volume pulmonaire. \$= variations du pourcentage de répartition antérieure et postérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T, $p < 0,05$; & = variations du pourcentage de répartition antérieure et postérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration en fonction du changement de position DD vs T, $p < 0,001$

6.3.1 RÉPARTITION ANTÉRIEURE

Tableau 4 : médianes et IQR 25-75 des pourcentages de répartition antérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration dans les différentes positions

	Ant DD pré-DV (%)	Ant DV (%)	p value DD-DV	Ant DD pré-T (%)	Ant T (%)	p value DD-T
Médiane	50,5	45,1	0,08	50,9	46,6	< 0,001
Interquartiles	[41,9 – 56,3]	[43,3 – 51,4]		[46,6 – 55,8]	[43,2 – 49,3]	

Ant = partie antérieure du poumon, DD pré-DV = DD précédant le DV, DD pré-T = DD précédant la position tripode, % = les valeurs sont exprimées en pourcentage

6.3.1.1 DD vs DV

Le changement de la position DD à la position DV montre une diminution non significative du pourcentage de répartition antérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration, respectivement 50,5 [41,9 – 56,3] vs 45,1 [43,3 – 51,4], $p = 0,08$. Tableau 4.

6.3.1.2 DD vs position tripode

Le changement de la position DD à la position tripode montre une diminution significative du pourcentage de répartition antérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration, respectivement 50,9 [46,6 – 55,8] vs 46,6 [43,2 – 49,3], $p < 0,001$. Tableau 4.

6.3.1.3 Comparaison des variations du pourcentage de répartition antérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T

La variation du pourcentage de répartition antérieure du volume en fin d'inspiration du changement de position DD-T est significativement plus importante que celle observée lors du changement de position DD-DV, respectivement -5,8 [-9,2 – 1,9] vs -0,2 [-10,0 – 5,7], $p = 0,04$. Tableau 5.

Tableau 5 : variations des pourcentages de répartition antérieure en fonction des changements de position DD-DV et DD-T

	Δ DD-DV (%)	Δ DD-T (%)	p value
Médiane	-0,2	-5,8	0,04
Interquartiles	[-10,0 – 5,7]	[-9,2 – 1,9]	

Δ = différence, % = les valeurs sont exprimées en pourcentage

6.3.2 RÉPARTITION POSTÉRIEURE

Tableau 6 : médianes et IQR 25-75 des pourcentages de la répartition postérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration dans les différentes positions

	Post DD pré-DV (%)	Post DV (%)	p value DD-DV	Post DD pré-T (%)	Post T (%)	p value DD-T
Médiane	46,4	50,7	0,47	46,4	49,3	< 0,001
Interquartiles	[40,2 – 54,0]	[43,9 – 52,1]		[41,1 – 50,6]	[46,3 – 52,5]	

Post = partie postérieure du poumon, DD pré-DV = DD précédent le DV, DD pré-T = DD précédent la position tripode, % = les valeurs sont exprimées en pourcentage

6.3.2.1 DD vs DV

Le changement de la position DD à la position DV montre une augmentation non significative du pourcentage de répartition postérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration, respectivement 46,4 [40,2 – 54,0] vs 50,7 [43,9 – 52,1], $p = 0,47$. Tableau 6.

6.3.2.2 DD vs position tripode

Le changement de la position DD à la position tripode montre une augmentation significative du pourcentage de répartition postérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration, respectivement 46,4 [41,1 – 50,6] vs 49,3 [46,3 – 52,5], $p < 0,001$. Tableau 6.

6.3.2.3 Comparaison des variations du pourcentage de répartition postérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T

La variation du pourcentage de répartition postérieure du volume en fin d'inspiration du changement de position DD-T est significativement plus importante que celle observée lors du changement de position DD-DV, respectivement 5,6 [-2,5 – 9,6] vs -1,1 [-6,2 – 8,9], $p = 0,02$. Tableau 7.

Tableau 7 : variation des pourcentages de répartition postérieure en fonction des changements de position DD-DV et DD-T

	Δ DD-DV (%)	Δ DD-T (%)	p value
Médiane	-1,1	5,6	0,02
Interquartiles	[-6,2 – 8,9]	[-2,5 – 9,6]	

Δ = différence, % = les valeurs sont exprimées en pourcentage

6.4 Effets du positionnement sur l'échelle numérique de confort

La comparaison des échelles numériques de confort mesurées en position DD, DV et T (respectivement $8,25 \pm 1,0$ vs $6,75 \pm 2,1$ vs $6,85 \pm 1,1$) ne montre aucune différence significative ($p = 0,06$). Tableau 6.

Tableau 6 : moyennes et écarts-types des échelles numériques de confort dans les différentes positions

Position	DD	DV	Tripode	p value
Moyenne \pm ET	$8,25 \pm 1,0$	$6,75 \pm 2,1$	$6,85 \pm 1,1$	0,06

ET = écart-type

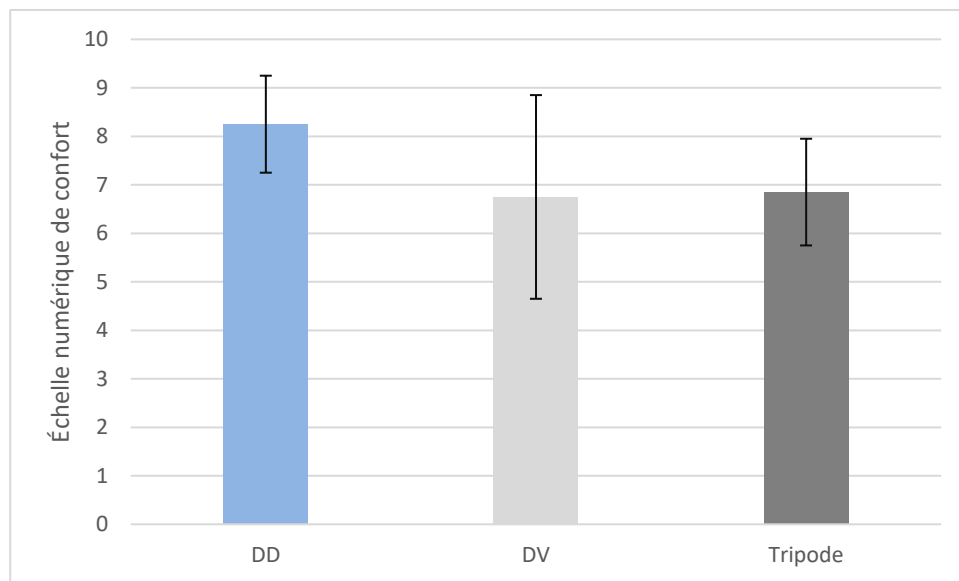


Figure 16 : Effets du positionnement sur l'échelle numérique de confort avec moyennes et écart-types

7 DISCUSSION

Dans cette partie, les résultats seront discutés et des hypothèses seront formulées. Les principales limites de notre étude seront mentionnées. Finalement, l'intérêt de ce travail dans la pratique sera expliqué et des pistes de recherches proposées. À notre connaissance, cette étude est la première comparant les effets du décubitus ventral et de la position tripode sur le volume pulmonaire en fin d'expiration, mesuré par la tomographie par impédance électrique chez des volontaires sains.

7.1 Interprétation des résultats

L'objectif principal de l'étude était de comparer l'effet du décubitus ventral et de la position tripode sur le volume pulmonaire en fin d'expiration, mesuré par la tomographie par impédance électrique chez des volontaires sains. Le premier objectif secondaire était de comparer la répartition des volumes pulmonaires en fin d'inspiration dans la position tripode et dans le décubitus ventral. Le deuxième était d'évaluer le confort du patient selon une échelle numérique.

Nos résultats montrent que chez des volontaires sains :

- Le changement de position DD-T augmente significativement le volume pulmonaire en fin d'expiration, contrairement au passage DD-DV.
- La variation du volume pulmonaire en fin d'expiration est significativement plus importante dans le changement de position DD-T que dans le passage DD-DV.
- Le changement de position DD-T augmente la répartition postérieure et diminue la distribution antérieure du volume pulmonaire en fin d'inspiration de manière significative, contrairement au passage DD-DV.
- La variation de la répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration est significativement plus importante dans le changement de position DD-T que dans le passage DD-DV.
- Il n'y a aucune différence significative sur le confort entre le DD, le DV et la position tripode.

7.1.1 EFFETS DES CHANGEMENTS DE POSITION SUR L'IMPÉDANCE EN FIN D'EXPIRATION

7.1.1.1 DD vs DV

Nos résultats montrent une légère amélioration de l'impédance lors du changement de la position DD à la position DV, mais celle-ci n'est pas significative. Riedel et al. (2005) ont comparé la répartition de la ventilation dans différentes positions (DD, DV, décubitus latéraux droit et gauche) avec différents niveaux de pressions sous CPAP (0, 5, 10 cmH₂O) chez 10 sujets sains, mesurée par le « multiple breath sulphur hexafluoride washout » (MBSF₆W) et l'EIT. Le MBSF₆W est une technique évaluant la CRF grâce à un mélange gazeux inhalé et expiré. Leurs sujets devaient respirer à travers un embout buccal et un débitmètre à ultrasons pour mesurer le débit et le volume pendant la respiration. Ils ont été invités à respirer avec un volume courant de 1 litre. Les auteurs ont observé une augmentation significative de la CRF entre les positions DD et DV mesurée par le MBSF₆W à 0 niveau de pression. La répartition de la ventilation dans le changement de position DD-DV mesurée par l'EIT n'a pas été rapportée. Riedel et al. (2005) montrent donc une augmentation significative de la CRF contrairement à nos résultats. Cette différence pourrait s'expliquer par la technique de mesure différente (MBSF₆W vs EIT) et le volume courant contrôlé de leurs sujets (1 litre) alors que nos participants n'avaient aucune contrainte.

L'augmentation de la CRF par le recrutement alvéolaire est corrélée à une amélioration de l'oxygénation (Lambreton et al., 2008). Nos résultats ne montrent pas de différence significative sur le volume en fin d'expiration lors de la mise en DV, le volume en fin d'expiration correspondant à la CRF. Pavlov et al. (2022) ont analysé 46 articles comparant le taux d'intubation chez des patients traités avec le DV en ventilation spontanée vs avec des soins standards (oxygénothérapie, pression positive continue, aide inspiratoire). 13 articles ont mis en lumière une augmentation significative de la SpO₂ (+ 5% en moyenne) ou de la PaO₂ (+ 44mmHg en moyenne) grâce au DV, maintenu généralement pendant plus de 4 heures. L'objectif de l'étude de Wendt et al. (2021) était de mesurer les modifications de la SpO₂ lors du DV chez des patients éveillés, en ventilation spontanée, atteints du Covid-19. Leurs sujets sont restés au minimum 30 minutes en DV, à air ambiant ou sous oxygénothérapie.

Pavlov et al. (2022) et Wendt et al. (2021) ont observé une amélioration significative de l'oxygénation en DV qui pourrait supposer un meilleur recrutement et donc une augmentation de la CRF. Nos résultats ne montrent pas d'augmentation significative de la CRF dans cette position mais cela pourrait s'expliquer de différentes manières. Notre étude se déroule sur des sujets jeunes et sains, alors que leurs sujets sont atteints du Covid-19. En effet, la mécanique respiratoire est très différente entre ces deux populations (Fernando et al., 2021). Chez les sujets sains, il n'y a pas d'effet de recrutement comme chez des patients pathologiques présentant des atélectasies (Peroni & Boner, 2000). L'augmentation du volume pulmonaire en fin d'expiration chez des sujets sains représente donc une variation de la CRF par l'effet du positionnement (Katz et al., 2018) et non d'un recrutement à proprement parlé. Les différents outils de mesure entre nos études (EIT vs gazométrie/oxymétrie de pouls) et la durée de positionnement (10 minutes vs 30 minutes à plus de 4 heures) pourraient également expliquer cette différence. Cependant, selon Caruana et al. (2015), 10 minutes suffisent pour que les paramètres se stabilisent chez des sujets sains lors d'un changement de position dans le plan antéro-postérieur.

7.1.1.2 DD vs position tripode

Une augmentation de l'oxygénation est corrélée à une augmentation de la CRF (Lambreton et al., 2008). Nous avons observé une augmentation significative d'impédance lors du passage du DD à la position tripode, ce qui objective une augmentation de la CRF. Uy et al. (2021) ont observé l'efficacité de la position tripode chez 4 patients éveillés, non-intubés, atteints de SDRA dû au Covid-19 et Coppo et al. (2021) chez 25 patients éveillés, non-intubés, atteints de la même pathologie. Les sujets sont restés en moyenne 12 à 20 heures dans la position tripode dans l'étude de Uy et al. (2021) et au moins 3 heures dans l'étude de Coppo et al. (2021). Les deux études ont montré une augmentation significative de l'oxygénation grâce à la position tripode, par rapport au DD. Nos résultats montrant une augmentation de la CRF en position tripode, l'amélioration de l'oxygénation dans leurs études pourrait s'expliquer par une plus grande CRF. Nos résultats confortent donc cette corrélation, mais ils doivent être extrapolés de manière limitée. En effet, le temps de positionnement (10 minutes vs 12 à 20 heures et 3 heures), la taille de l'échantillon (10 vs 4 et 25 sujets) et l'état de santé des sujets (sains vs souffrant d'un SDRA dû au Covid-19) diffèrent des nôtres.

Dans leur revue systématique analysant les effets du positionnement sur les fonctions pulmonaires chez des patients sains et malades, Katz et al. (2018) ont montré une amélioration de la CRF dans la position assise, par rapport au DD. La CRF a été évaluée chez des sujets sains, par dilution d'hélium. La position tripode étant proche de la position assise, nos résultats peuvent être mis en parallèle. En effet, nous avons aussi observé une

augmentation de la CRF. Cependant, ces résultats doivent également être extrapolés de manière limitée, la position (tripode vs assise) et la méthode de mesure (EIT vs dilution d'hélium) étant différentes.

7.1.1.3 Comparaison des variations d'impédance en fin d'expiration en fonction des changements de position DD-DV vs DD-T

La comparaison des variations d'impédance des changements de positions DD-DV et DD-T montre une différence significative. Le changement de position DD-T a un effet plus important sur le volume pulmonaire en fin d'expiration que le changement DD-DV.

Coppo et al. (2021) ont étudié l'effet de la position tripode. Leurs résultats montrent que celle-ci améliore l'oxygénation de façon similaire au DV ($98,2 \pm 81,6$ mmHg). Ils ont émis l'hypothèse que ces deux positions influencent l'oxygénation par le même mécanisme : l'inversion du gradient gravitationnel par rapport au DD. Par ce mécanisme, le DV permet une réduction des compressions pulmonaires et diaphragmatiques induites en DD (Koulouras et al., 2016 ; McGurk et al., 2020 ; Varpula et al., 2003 ; Wendt et al., 2021). En effet, le DV libère la compression des viscères sur la partie postérieure du diaphragme, partie qui présente le plus grand mouvement contractile (Varpula et al., 2003), améliorant ainsi la ventilation pulmonaire dorsale. Concernant la position tripode, étant une position semi-assise, nous pouvons supposer que les compressions pulmonaires et diaphragmatiques sont également diminuées. En effet, selon Bhatt et al. (2018), la position tripode réduit la pression des viscères sur le diaphragme. De plus, ils suggèrent que cette position possède une relation tension-longueur diaphragmatique plus favorable. Nous émettons aussi l'hypothèse que la contraction diaphragmatique est augmentée par l'effet de la gravité par rapport au DD et au DV. La position tripode permet donc potentiellement une meilleure contraction diaphragmatique que le DV. Ces différents éléments, comme pour le DV, pourraient favoriser la ventilation pulmonaire dorsale par rapport au DD et expliquer l'augmentation d'impédance dans le changement de position DD-T.

En DV, la compliance thoraco-pulmonaire est limitée par la grande surface d'appui antérieure (Roche-Campo et al., 2011). En revanche, en position tripode, la surface d'appui est plus petite et le poids du corps appliqué sur celle-ci est moins important. Nous pouvons donc supposer que la compliance thoraco-pulmonaire est meilleure en position tripode. La contraction diaphragmatique et la compliance thoraco-pulmonaire favorisées en position tripode pourraient donc expliquer l'effet plus important du changement de position DD-T sur le volume pulmonaire en fin d'expiration.

7.1.2 EFFETS DES CHANGEMENTS DE POSITION SUR LE POURCENTAGE DE RÉPARTITION DU VOLUME PULMONAIRE EN FIN D'INSPIRATION

L'augmentation du volume pulmonaire postérieur et la diminution du volume pulmonaire antérieur lors des positions testées (DV et position tripode), nous montrent un déplacement du volume pulmonaire vers la zone postérieure du poumon. Ce déplacement représente 5% environ dans le changement de position DD-DV et 3,5% environ dans le changement de position DD-T. La différence dans le changement de position DD-DV n'est cependant pas statistiquement significative, contrairement au changement de position DD-T. Ceci concorde avec nos mesures d'impédance dans lesquelles la position tripode a des effets significatifs sur le volume pulmonaire, contrairement au DV.

Kotani et al. (2016) ont évalué les effets du DV avec l'EIT chez une patiente intubée de 77 ans atteinte de SDRA avec un cœur pulmonaire aigu. Ils ont montré un déplacement de 13% du volume pulmonaire des zones ventrales vers les zones dorsales du poumon après 20 minutes de DV. Après 4 heures de DV, environ 64% du volume pulmonaire était distribué dans les zones dorsales du poumon, contre environ 50% dans notre étude après 10 minutes. Ces différences pourraient s'expliquer de diverses manières : le temps de positionnement (10 minutes vs 4 heures), la taille de l'échantillon (10 vs 1 sujet) et l'état de santé du sujet (sains vs SDRA avec un cœur pulmonaire aigu).

Fossali et al. (2022) ont observé les effets physiologiques du DV chez 21 patients ventilés, sédatisés et atteints de SDRA dû au Covid-19, avec l'EIT. Ils montrent, comme Kotani et al. (2016), un déplacement de 13% du volume pulmonaire des zones ventrales vers les zones dorsales après 20 à 30 minutes de DV, contre environ 50% dans notre étude après 10 minutes. La différence avec nos résultats pourrait également s'expliquer par des temps de positionnement (10 minutes vs 20 à 30 minutes), une taille de l'échantillon (10 vs 21 sujets) et un état de santé des sujets (sains vs SDRA) différents.

Finalement, nous pouvons supposer que la position tripode a plus d'effets que le DV sur la répartition du volume pulmonaire en fin d'inspiration pour les mêmes raisons qu'expliquées dans le chapitre précédent, à savoir une meilleure contraction diaphragmatique et une meilleure compliance thoraco-pulmonaire.

7.1.3 EFFETS DU POSITIONNEMENT SUR L'ÉCHELLE NUMÉRIQUE DE CONFORT

Statistiquement, il n'existe aucune différence significative sur l'échelle numérique de confort entre les trois positions. Cependant, on observe cliniquement que les patients semblent plus confortables en DD. En effet, nous observons une amélioration de près de 1,5 points entre les valeurs de l'échelle en DD et celles en DV et en position tripode. Par ailleurs, 7/10 sujets ont mieux noté la position DD que les autres, 2/10 le DV et 1/10 la position tripode. La plupart de nos sujets nous ont confié être plus confortables et proches de l'endormissement en DD et que cette position serait la plus simple à tenir de manière prolongée.

Selon Coppo et al. (2021) et Uy et al. (2021), qui ont étudié l'efficacité de la position tripode chez des patients éveillés, non-intubés, atteints de SDRA dû au Covid-19, la position tripode a été élaborée afin d'être plus tolérable pour les patients ne supportant pas le DV. Pourtant, au regard de nos résultats, nous n'observons pas un confort plus élevé dans cette position. Lorsque nous avons demandé à nos sujets quelle position ils préféraient entre le DV et la position tripode, 7/10 nous ont répondu le DV contre 3/10 la position tripode. La majorité des sujets ayant répondu le DV, nous ont rapporté préférer s'endormir dans cette position, alors que les 3 sujets ayant répondu la position tripode, nous ont indiqué ne pas être confortables en DV et rarement s'endormir dans cette position. Il semblerait donc y avoir un lien entre la position la mieux supportée et la préférence de la position pour s'endormir.

7.2 Limites de l'étude

Il existe plusieurs limites dans notre étude. Premièrement, notre échantillon est de petite taille et composé uniquement d'hommes jeunes et en bonne santé. Nos résultats ne peuvent donc pas être extrapolés aux patients présentant des pathologies pulmonaires hypoxémiantes. En effet, les effets physiologiques du positionnement peuvent différer lors de pathologies cardio-respiratoires (Fernando et al., 2021).

Deuxièmement, le temps maintenu dans les différentes positions peut représenter une limite. Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour une durée de positionnement de 10 minutes, temps nécessaire à une stabilisation des volumes dans le plan antéro-postérieur selon Caruana et al. (2015). Cependant, à l'heure actuelle, aucune étude n'a pu déterminer le temps optimal de maintien de la position tripode. Ainsi, une durée de positionnement différente aurait pu influencer nos résultats.

Troisièmement, nous avons mesuré le volume pulmonaire en fin d'expiration sans quantifier l'oxygénation. Une augmentation de la CRF étant corrélée à une augmentation de la PaO₂ (Lambermont et al., 2008), nous avons extrapolé nos résultats à des études mesurant la variation d'oxygénation dans les changements de position. Il aurait cependant été intéressant d'évaluer l'oxygénation de nos sujets pour pouvoir comparer objectivement nos résultats.

Finalement, la tomographie par impédance électrique au lit du patient est une technique commercialisée et utilisée dans différents services spécialisés. À notre connaissance, la validité et la fiabilité du PulmoVista 500® n'ont, à ce jour, jamais été évaluées.

7.3 Implications pour la pratique

La position tripode a été élaborée comme alternative au DV, dans le but d'être plus confortable pour les patients. Celle-ci améliore l'oxygénation des patients en ventilation spontanée, de manière similaire au DV (Coppo et al., 2021). Nos résultats ne montrent pas de différence sur le confort entre la position tripode et le DV mais présentent une amélioration de la CRF dans le changement de position DD-T, contrairement au changement de position DD-DV. Ces résultats nous encouragent à considérer la position tripode comme moyen thérapeutique supplémentaire pour améliorer la CRF. De plus, ayant des points d'appui différents du DV, cette position peut présenter des avantages dans certaines situations (fractures, plaies, escarres, ...). Elle peut également être bénéfique pour l'adhérence thérapeutique du patient. En effet, le patient éveillé et en ventilation spontanée peut alterner ou choisir la position qu'il préfère entre la position tripode et le DV.

7.4 Pistes pour de futures recherches

Notre étude comporte un petit échantillon de sujets ne souffrant d'aucune pathologie cardio-respiratoire nécessitant un positionnement particulier. Notre population n'est donc pas représentative de la pratique clinique. Il serait intéressant d'étudier l'effet de la position tripode et du décubitus ventral sur la CRF chez des sujets souffrant de pathologies pulmonaires hypoxémiantes, telles que le Covid-19 ou le SDRA.

Nous avons émis plusieurs hypothèses concernant les effets de la position tripode par rapport au DD. Premièrement le diaphragme aurait une meilleure course et donc une meilleure contraction lors de la position tripode. Deuxièmement, les compressions pulmonaires sont également diminuées dans la position tripode. Finalement, nous avons supposé que la compliance thoraco-pulmonaire serait augmentée en position tripode. Il serait intéressant de mesurer ces différents paramètres afin de vérifier nos différentes hypothèses.

Pour conclure, le DV et ses effets ont été largement étudiés chez des patients en ventilation non invasive ou sous oxygénothérapie à haut débit. Il serait également pertinent d'analyser les effets de la position tripode dans cette population.

8 CONCLUSION

Notre travail a cherché à comparer, par rapport au décubitus dorsal, l'effet du décubitus ventral et de la position tripode sur la CRF et la répartition des volumes pulmonaires en fin d'inspiration chez des sujets sains. Le changement de position DD-T améliore significativement la CRF et permet un déplacement des volumes pulmonaires vers la partie postérieure du poumon. Nos résultats montrent que, par rapport au décubitus dorsal, cette position a plus d'effets sur les volumes pulmonaires que le décubitus ventral.

Elle n'est cependant pas plus confortable pour les sujets que le décubitus ventral. Le confort étant une des raisons pour laquelle cette position a été imaginée, son utilité serait à redéfinir. Toutefois, son effet sur la CRF étant prometteur, cette position pourrait tout à fait avoir sa place dans le traitement des pathologies pulmonaires hypoxémiantes, malgré un confort similaire au DV.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Bohn, M. K., Hall, A., Sepiashvili, L., Jung, B., Steele, S., & Adeli, K. (2020). Pathophysiology of COVID-19 : Mechanisms Underlying Disease Severity and Progression. *Physiology*, 35(5), 288-301. <https://doi.org/10.1152/physiol.00019.2020>
- Caruana, L. R., Paratz, J. D., Chang, A., Barnett, A. G., & Fraser, J. F. (2015). The Time Taken for the Regional Distribution of Ventilation to Stabilise : An Investigation Using Electrical Impedance Tomography. *Anaesthesia and Intensive Care*, 43(1), 88-91. <https://doi.org/10.1177/0310057X1504300113>
- Coppo, A., Bellani, G., Winterton, D., Di Pierro, M., Soria, A., Faverio, P., Cairo, M., Mori, S., Messinesi, G., Contro, E., Bonfanti, P., Benini, A., Valsecchi, M. G., Antolini, L., & Foti, G. (2020). Feasibility and physiological effects of prone positioning in non-intubated patients with acute respiratory failure due to COVID-19 (PRON-COVID): A prospective cohort study. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(8), 765-774. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30268-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30268-X)
- Coppo, A., Winterton, D., Benini, A., Monzani, A., Aletti, G., Cadore, B., Isgrò, S., Pizzagalli, J., Bellani, G., & Foti, G. (2021). Rodin's Thinker : An Alternative Position in Awake Patients with COVID-19. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 204(6), 728-730. <https://doi.org/10.1164/rccm.202104-0915LE>
- Corte, F. D., Mauri, T., Spinelli, E., Lazzeri, M., Turrini, C., Albanese, M., Abbruzzese, C., Lissoni, A., Galazzi, A., Eronia, N., Bronco, A., Maffezzini, E., Pesenti, A., Foti, G., Bellani, G., & Grasselli, G. (2020). Dynamic bedside assessment of the physiologic effects of prone position in acute respiratory distress syndrome patients by electrical impedance tomography. *Minerva Anestesiologica*, 86(10), 1057-1064. <https://doi.org/10.23736/s0375-9393.20.14130-0>
- Cotton, S., Zawaydeh, Q., LeBlanc, S., Husain, A., & Malhotra, A. (2020). Proning during covid-19 : Challenges and solutions. *Heart & Lung*, 49(6), 686-687. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2020.08.006>
- Dardeir, A., Marudhai, S., Patel, M., Ghani, M. R., & Busa, V. (2020). Factors Influencing Prone Positioning in Treating Acute Respiratory Distress Syndrome and the Effect on Mortality Rate. *Cureus* 12(10), Article e10767. <https://doi.org/10.7759/cureus.10767>
- Elmaleh, Y., Scherer, M., Garnier, M., & Quesnel, C. (2021). La tomographie par impédance électrique : L'exemple du Pulmovista™. *Le Praticien en Anesthésie Réanimation*, 25(4), 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.pratan.2021.08.002>
- Fernando, S. M., Ferreyro, B. L., Urner, M., Munshi, L., & Fan, E. (2021). Diagnostic et traitement du syndrome de détresse respiratoire aiguë. *Canadian Medical Association Journal*, 193(25), E978-E986. <https://doi.org/10.1503/cmaj.202661-f>
- Fossali, T., Pavlovsky, B., Ottolina, D., Colombo, R., Basile, M. C., Castelli, A., Rech, R., Borghi, B., Ianniello, A., Flor, N., Spinelli, E., Catena, E., & Mauri, T. (2022). Effects of Prone Position on Lung Recruitment and Ventilation-Perfusion Matching in Patients With COVID-19 Acute Respiratory Distress Syndrome : A Combined CT Scan/Electrical Impedance Tomography Study. *Critical Care Medicine*. Prépublication. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000005450>

- Jagan, N., Morrow, L. E., Walters, R. W., Klein, L. P., Wallen, T. J., Chung, J., & Plambeck, R. W. (2020). The POSITIONED Study : Prone Positioning in Nonventilated Coronavirus Disease 2019 Patients—A Retrospective Analysis. *Critical Care Explorations*, 2(10), Article e0229. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000229>
- Katz, S., Arish, N., Rokach, A., Zaltzman, Y., & Marcus, E.-L. (2018). The effect of body position on pulmonary function : A systematic review. *BMC Pulmonary Medicine*, 18, Article 159. <https://doi.org/10.1186/s12890-018-0723-4>
- Kotani, T., Tanabe, H., Yusa, H., Saito, S., Yamazaki, K., & Ozaki, M. (2016). Electrical impedance tomography-guided prone positioning in a patient with acute cor pulmonale associated with severe acute respiratory distress syndrome. *Journal of Anesthesia*, 30, 161-165. <https://doi.org/10.1007/s00540-015-2084-y>
- Koulouras, V., Papathanakos, G., Papathanasiou, A., & Nakos, G. (2016). Efficacy of prone position in acute respiratory distress syndrome patients : A pathophysiology-based review. *World Journal of Critical Care Medicine*, 5(2), 121-136. <https://doi.org/10.5492/wjccm.v5.i2.121>
- Lambermont, B., Ghuysen, A., Janssen, N., Morimont, P., Hartstein, G., Gerard, P., & D'Orio, V. (2008). Comparison of functional residual capacity and static compliance of the respiratory system during a positive end-expiratory pressure (PEEP) ramp procedure in an experimental model of acute respiratory distress syndrome. *Critical Care*, 12(4), Article R91. <https://doi.org/10.1186/cc6961>
- McGurk, K., Riveros, T., Johnson, N., & Dyer, S. (2020). A primer on proning in the emergency department. *Journal of the American College of Emergency Physicians Open*, 1(6), 1703-1708. <https://doi.org/10.1002/emp2.12175>
- Ng, J. A., Miccile, L. A., Iracheta, C., Berndt, C., Detwiller, M., Yuse, C., & Tolland, J. (2020). Prone Positioning of Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome Related to COVID-19 : A Rehabilitation-Based Prone Team. *Physical Therapy*, 100(10), 1737-1745. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa124>
- Parke, R. L., Bloch, A., & McGuinness, S. P. (2015). Effect of Very-High-Flow Nasal Therapy on Airway Pressure and End-Expiratory Lung Impedance in Healthy Volunteers. *Respiratory Care*, 60(10), 1397-1403. <https://doi.org/10.4187/respcare.04028>
- Pavlov, I., He, H., McNicholas, B., Perez, Y., Tavernier, E., Trump, M. W., Jackson, J. A., Zhang, W., Rubin, D. S., Spiegel, T., Hung, A., Estrada, M. Á. I., Roca, O., Vines, D. L., Cosgrave, D., Mirza, S., Laffey, J. G., Rice, T. W., Ehrmann, S., & Li, J. (2022). Awake Prone Positioning in Non-Intubated Patients With Acute Hypoxemic Respiratory Failure Due to COVID-19. *Respiratory Care*, 67(1), 102-114. <https://doi.org/10.4187/respcare.09191>
- Peroni, D. G., & Boner, A. L. (2000). Atelectasis : Mechanisms, diagnosis and management. *Paediatric Respiratory Reviews*, 1(3), 274-278. <https://doi.org/10.1053/prrv.2000.0059>
- Pierucci, P., Ambrosino, N., Di Lecce, V., Dimitri, M., Battaglia, S., Boniello, E., Portacci, A., Resta, O., & Carpagnano, G. E. (2021). Prolonged Active Prone Positioning in Spontaneously Breathing Non-intubated Patients With COVID-19-Associated Hypoxemic Acute Respiratory Failure With PaO₂/FiO₂ >150. *Frontiers in Medicine*, 8, Article 626321. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.626321>
- Puel, F., Crognier, L., Soulé, C., Vardon-Bouines, F., Ruiz, S., Seguin, T., Fourcade, O., Minville, V., Conil, J.-M., & Georges, B. (2020). Assessment of electrical impedance tomography to set optimal positive end-expiratory

pressure for veno-venous ECMO-treated severe ARDS patients. *Journal of Critical Care*, 60(1), 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.06.017>

Rauseo, M., Mirabella, L., Caporusso, R. R., Cantatore, L. P., Perrini, M. P., Vetusch, P., La Bella, D., Tullo, L., & Cinnella, G. (2021). SARS-CoV-2 pneumonia successfully treated with cpap and cycles of tripod position : A case report. *BMC Anesthesiology*, 21, Article 9. <https://doi.org/10.1186/s12871-020-01221-5>

Reychler, G., Uribe Rodriguez, V., Hickmann, C. E., Tombal, B., Laterre, P.-F., Feyaerts, A., & Roeseler, J. (2019). Incentive spirometry and positive expiratory pressure improve ventilation and recruitment in postoperative recovery : A randomized crossover study. *Physiotherapy Theory and Practice*, 35(3), 199-205. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1443185>

Riedel, T., Richards, T., & Schibler, A. (2005). The value of electrical impedance tomography in assessing the effect of body position and positive airway pressures on regional lung ventilation in spontaneously breathing subjects. *Intensive Care Medicine*, 31(11), 1522-1528. <https://doi.org/10.1007/s00134-005-2734-x>

Roche-Campo, F., Aguirre-Bermeo, H., & Mancebo, J. (2011). Prone positioning in acute respiratory distress syndrome (ARDS) : When and how? *La Presse Médicale*, 40(12), e585-e594. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2011.03.019>

Scholten, E. L., Beitler, J. R., Prisk, G. K., & Malhotra, A. (2017). Treatment of ARDS With Prone Positioning. *Chest*, 151(1), 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.06.032>

Society of Critical Care Medicine and European Society of Intensive Care Medicine. (2021, 1 janvier). *Surviving Sepsis Campaign Guidelines on the Management of Adults with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in the ICU*. Surviving Sepsis Campaign. <https://www.sccm.org/getattachment/SurvivingSepsisCampaign/Guidelines/COVID-19/SSC-COVID19GuidelinesRecTable-FirstUpdate.pdf.aspx?lang=en-US>

Teschner, E., & Imhoff, M. (2010). Tomographie par impédance électrique : La réalisation de la surveillance régionale de la ventilation. <https://www.draeger.com/Products/Content/eit-bk-gesamt-9067044-fr-1508-2.pdf>

Tomasino, S., Sassanelli, R., Marescalco, C., Meroi, F., Vetrugno, L., & Bove, T. (2020). Electrical Impedance Tomography and Prone Position During Ventilation in COVID-19 Pneumonia : Case Reports and a Brief Literature Review. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 24(4), 287-292. <https://doi.org/10.1177/1089253220958912>

Uy, R. T., Aguas, G. V. A., Aquino, P. A. M., Mendoza, R. E., & Raniaga, R. B. (2021). Tripod Position as A Novel Adjunct Clinical Management of Moderate to Severe ARDS in COVID-19 Patients : A Case Series and Review. *Philippine Journal of Nursing*, 91(1), 103-107. <http://www.pna-pjn.com/pjn-january-june-2021-issue/>

Varpula, T., Jousela, I., Niemi, R., Takkunen, O., & Pettilä, V. (2003). Combined effects of prone positioning and airway pressure release ventilation on gas exchange in patients with acute lung injury: Prone positioning and APRV. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 47(5), 516-524. <https://doi.org/10.1034/j.1399-6576.2003.00109.x>

Wendt, C., Mobus, K., Weiner, D., Eskin, B., & Allegra, J. R. (2021). Prone Positioning of Patients With Coronavirus Disease 2019 Who Are Nonintubated in Hypoxic Respiratory Distress : Single-Site Retrospective Health Records Review. *Journal of Emergency Nursing*, 47(2), 279-287. <https://doi.org/10.1016/j.jen.2020.12.006>

Wiggermann, N., Zhou, J., & Kumpar, D. (2020). Proning Patients With COVID-19 : A Review of Equipment and Methods. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 62(7), 1069-1076. <https://doi.org/10.1177/0018720820950532>

Wu, Z., & McGoogan, J. M. (2020). Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China : Summary of a Report of 72 314 Cases From the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA*, 323(13), E1-E4. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.2648>

ANNEXES

Annexe I : Lettre d'information destinée aux volontaires

Annexe II : Formulaire de consentement éclairé

Annexe III : Questionnaire destiné aux volontaires

ANNEXE I : LETTRE D'INFORMATION DESTINEE AUX VOLONTAIRES

Lettre d'information destinée aux volontaires

Monsieur,

Nous vous proposons de participer à une étude clinique sur le volume pulmonaire en fin d'expiration. Cette étude portera sur une comparaison entre des volumes pulmonaires dans deux positions, couché sur le ventre (DV) et dans la position tripode (TP). La prise de données s'effectuera à l'aide de la tomographie par impédance électrique, technique d'imagerie non-irradiante permettant d'obtenir des images de vos poumons.

Cette lettre vise à vous fournir les informations concernant le déroulement de cette expérimentation ainsi que votre implication personnelle.

Objectifs de l'étude

Lors de la crise de la COVID-19, la position couchée sur le ventre (DV) a été utilisée chez les patients, dans le but d'améliorer le taux d'oxygène dans le sang.

Cependant, en clinique, le DV n'est pas toléré par tous les patients. C'est pourquoi un groupe de chercheurs a essayé de placer les patients dans une nouvelle position, offrant les mêmes avantages que le DV mais qui pourrait être mieux tolérée. Cette position se nomme la position tripode, position quelque peu semblable au penseur de Rodin.

Dans ce contexte, le but de notre étude est de comparer l'effet sur le volume pulmonaire en fin d'expiration entre la position tripode et le DV.

Déroulement de l'étude

L'expérimentation comparant des volumes pulmonaires dans les deux positions se déroulera comme suit :

Dans un premier temps, nous vous demanderons de répondre à un questionnaire afin de s'assurer que vous remplissez les critères pour participer à notre étude. Puis, nous allons choisir la ceinture d'électrodes adaptée à votre taille. Ce sont ces électrodes qui nous permettront d'obtenir une image de vos poumons. Nous placerons autour de votre thorax la ceinture qui sera reliée à la machine (appareil de tomographie par impédance électrique). Enfin, vous serez installé sur un lit, couché sur le dos. Vous allez rester dans cette position 10 minutes avec comme consigne de respirer normalement.

Dans un second temps, vous serez installé dans la position tripode. Vous serez donc assis sur une chaise, poitrine appuyée contre le lit. Vos bras seront croisés et posés sur le lit et votre tête reposera sur vos avant-bras. Vous porterez toujours la ceinture d'électrodes. Vous resterez également 10 minutes dans cette position avec comme consigne de respirer normalement.

Dans un troisième temps, vous serez à nouveau installé sur un lit, couché sur le dos. Vous aurez toujours la ceinture d'électrodes. Vous allez aussi rester dans cette position 10 minutes avec comme consigne de respirer normalement.

Ensuite, vous serez placé, couché sur le ventre. Vous porterez toujours la ceinture d'électrodes. Vous resterez également 10 minutes dans cette position avec comme consigne de respirer normalement.

Finalement, vous serez encore une fois installé, couché sur le dos. Vous aurez toujours la ceinture d'électrodes. Vous allez aussi rester dans cette position 10 minutes avec comme consigne de respirer normalement.

Il est possible que l'ordre de la position tripode et de la position DV soit inversé.

L'expérimentation durera environ une heure.

La tomographie par impédance électrique, technique d'imagerie médicale non-invasive et sans radiation ne présente aucun risque.

Nous vous remercions pour votre participation et restons à votre entière disposition pour tout complément d'information.

ANNEXE II : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ECLAIRE

Formulaire de consentement éclairé pour le volontaire

Comparaison de l'effet de la position tripode et du décubitus ventral sur le volume pulmonaire en fin d'expiration chez des volontaires sains

1. Je déclare avoir lu l'information qui précède et accepter de participer à l'étude *Comparaison de l'effet de la position tripode et du décubitus ventral sur le volume pulmonaire en fin d'expiration chez des volontaires sains* dont le service des soins intensifs des Cliniques Universitaires Saint Luc est le promoteur.
2. On m'a remis une copie de ce formulaire de consentement éclairé, signé et daté, ainsi que de la lettre d'information destinée aux volontaires. J'ai reçu une explication concernant la nature, le but, la durée et les effets prévisibles de l'étude et j'ai été informé de ce qu'on attend de ma part. Les risques et avantages éventuels de l'étude m'ont été expliqués. On m'a donné le temps et l'occasion de poser des questions sur l'étude ; toutes mes questions ont reçu une réponse satisfaisante.
3. J'accepte que les résultats de cette étude, qui seront toujours anonymisés, soient diffusés à des fins scientifiques et en respectant les règles déontologiques de la communauté scientifique. Je suis libre de participer ou non, de même que quitter l'étude à tout moment, sans qu'il soit nécessaire de justifier ma décision.
4. Je consens de mon plein gré à participer à cette étude.

Nous vous remercions d'apposer la mention « **lu et approuvé** ».

Signature du volontaire

Date (jour/mois/année)

Je confirme que j'ai expliqué la nature, le but et les effets prévisibles de l'étude au volontaire mentionné ci-dessus.

Le volontaire confirme son accord de participation par sa signature personnellement datée.

Signature de l'investigateur

Date (jour/mois/année)

ANNEXE III : QUESTIONNAIRE DESTINE AUX VOLONTAIRES

Questionnaire destiné aux volontaires

A remplir par le volontaire :

1. Initiales : _____
2. Date de naissance : _____
3. Taille : _____
4. Poids : _____
5. Souffrez-vous d'instabilité vertébrale ? OUI / NON
6. Souffrez-vous de pathologie cardio-pulmonaire ? OUI / NON
7. Souffrez-vous de déformation de la cage thoracique ? OUI / NON
8. Souffrez-vous de lésions cutanées sur le thorax ? OUI / NON
9. Avez-vous des implants électriques (type pacemaker) ? OUI / NON
10. Souffrez-vous de pression intracrânienne élevée ? OUI / NON
11. Souffrez-vous d'instabilité hémodynamique ? OUI / NON
12. Souffrez-vous de dysrythmies cardiaques ? OUI / NON

A remplir par l'examineur :

13. IMC : _____
14. Position préférée DV VS tripode : _____
15. Confort DV 0-10 : _____
16. Confort position tripode 0-10 : _____
17. Confort DD 0-10 : _____

J'atteste que mes informations sont exactes

Signature