BJMS
www.batnajms.net

Batna Journal of Medical Sciences 2025;12(4):15
https://doi.org/10.48087/BJMSoa.2025.12415

ORIGINAL ARTICLE

Plethysmographic hyperinflation and well-controlled asthma: contribution and limitations of plethysmography

Ahmed GUENDOUZ[1], Leila BELHADJ[2], Derouicha MATMOUR[3]

ABSTRACT

Objective: Asthma control is usually assessed through clinical evaluation and spirometry, but these methods may overlook certain abnormalities, particularly air trapping. Plethysmography allows the detection of this pulmonary hyperinflation. Our objective was to evaluate its prevalence in clinically controlled asthmatic patients with normal spirometry. **Methods**: We conducted a cross-sectional study including 78 clinically controlled asthmatic patients without symptoms and with normal spirometry ($FEV_1/FVC \geq 0.70$ and $FEV_1 \geq 80\%$ predicted). All patients underwent body plethysmography. Hyperinflation was defined as an RV/TLC ratio > 0.35 and/or TLC > 120% predicted. Body mass index (BMI) was analyzed according to sex. **Results**: The mean age of the population was 42.5 ± 13.2 years (41 women and 37 men). Pulmonary hyperinflation was observed in 52 patients (66.7%; 95% CI [55.6–76.1]). No significant difference was found between men and women (p = 0.41). The mean BMI was 27.1 ± 3.4 kg/m² in women (overweight) versus 23.8 ± 2.9 kg/m² in men (normal weight). BMI was not associated with the prevalence of hyperinflation. **Conclusion**: In well-controlled asthmatics, body plethysmography reveals pulmonary hyperinflation in 66.7% of cases. This finding demonstrates that spirometry alone is insufficient to identify functional abnormalities. Body plethysmography should be integrated into the systematic functional evaluation of controlled asthma.

Keywords: asthma; spirometry; plethysmography; hyperinflation.

Keywords:

1-Département de médecine, Faculté de médecine Taleb Mourad Sidi bel Abbes, Algérie. 2-Département de médecine dentaire, Faculté de médecine Taleb Mourad Sidi bel Abbes, Algérie. 3-Département de pharmacie, Faculté de médecine Taleb Mourad Sidi bel Abbes, Algérie.

Received: 02 Oct 2025
Accepted: 05 Nov 2025

Correspondance to: Ahmed GUENDOUZ
E-mail : ahmedguendouz179@gmail.com

1. INTRODUCTION

L'asthme est une affection inflammatoire chronique et hétérogène des voies aériennes, marquée par une variabilité du flux expiratoire [1]. L'exploration fonctionnelle repose surtout sur la spirométrie, considérée comme l'examen de référence [2,3]. Cependant, la spirométrie est centrée sur les débits aériens et peut manquer certaines anomalies, notamment celles liées aux petites voies aériennes et aux volumes pulmonaires [4]. La pléthysmographie corporelle, en mesurant la capacité pulmonaire totale (CPT) et le volume résiduel (VR), permet de détecter l'hyperinflation statique et le piégeage gazeux [5,6]. Plusieurs études ont rapporté une hyperinflation persistante chez des asthmatiques normo-spirométriques [7–12]. Par ailleurs, l'indice de masse corporelle (IMC) influence la mécanique respiratoire. L'obésité tend à réduire les volumes pulmonaires, mais son interaction avec la distension asthmatique reste controversée [5,6].

L'objectif de ce travail est d'évaluer la prévalence de la distension pulmonaire pléthysmographique chez des asthmatiques contrôlés avec spirométrie normale, et d'analyser la répartition selon le sexe et l'IMC.

2. MÉTHODES

Il s'agit d'une étude observationnelle, transversale et monocentrique, menée de façon consécutive du 1er mars 2024 au 1er mars 2025 au sein du service de physiologie clinique et d'explorations fonctionnelles du CHU Hassani Abdelkader Sidi Bel Abbes. Un total de 78 patients asthmatiques répondant aux critères d'inclusion ont été recrutés consécutivement.

La population étudiée comprenait 78 patients ayant un diagnostic confirmé d'asthme selon les recommandations internationales de la Global Initiative for Asthma (GINA) 2024 [1]. Tous les participants étaient asymptomatiques au moment de l'exploration et présentaient un asthme bien contrôlé. Le contrôle clinique a été évalué lors de la visite d'inclusion, au moins quatre semaines après toute modification thérapeutique, au moyen du score ACT (Asthma Control Test) [13]. Seuls les patients présentant un score ACT ≥ 20 ont été considérés comme ayant un asthme « bien contrôlé », conformément aux critères GINA 2024 [1]. Ce seuil correspond à l'absence de symptômes diurnes ou nocturnes, à une absence d'utilisation de traitement de secours, et à aucune limitation des activités au cours des quatre semaines précédentes [13]. Cette approche a permis de garantir l'homogénéité du groupe étudié et d'éviter tout biais de sélection lié à un contrôle insuffisant ou partiel de l'asthme.

Les critères fonctionnels d'inclusion reposaient sur une spirométrie normale, définie par un rapport VEMS/CVF ≥ 0,70 et un VEMS ≥ 80% de la valeur prédite. Ont été exclus de l'étude les sujets présentant un tabagisme actif significatif (> 10 paquets-année), une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), une pathologie pulmonaire interstitielle, une comorbidité cardiaque (insuffisance cardiaque chronique, coronaropathie instable) ou neuromusculaire (myopathie, sclérose en plaques) majeure, ou toute autre affection susceptible d'influencer les volumes pulmonaires. Les traitements en cours ont été enregistrés : tous les patients recevaient un corticostéroïde inhalé (CSI) à dose stable (équivalent à fluticasone 250-500 µg/jour) depuis au moins quatre semaines, et aucun changement de bronchodilatateur de longue durée d'action (bêta-2 agoniste ou anticholinergique) n'a été effectué dans les quatre semaines précédant l'exploration fonctionnelle.

Tous les patients ont bénéficié d'une évaluation fonctionnelle respiratoire complète. La spirométrie a permis de mesurer la capacité vitale forcée (CVF), le volume expiratoire maximal en une seconde (VEMS), le rapport VEMS/CVF et le débit expiratoire moyen (DEM25–75) [3]. La pléthysmographie corporelle a été réalisée à l'aide d'un Body Box 5500 DLCO (Medisoft, Sorinnes, Belgique) selon les recommandations ATS/ERS [14,15] afin de déterminer la capacité pulmonaire totale (CPT), le volume résiduel (VR) et le rapport VR/CPT. Une calibration quotidienne de l'appareil a été effectuée, incluant la vérification du volume avec une seringue de 3 L et l'étalonnage du transducteur de pression. Les patients, installés en position assise dans la cabine fermée avec un pince-nez, effectuaient des manœuvres de halètement à une fréquence de 0,5 à 1 Hz après stabilisation de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF). Les critères d'acceptabilité incluaient : stabilité de la CRF (variations < 100 mL sur 4 cycles), la différence entre CRF et niveau d'occlusion < 200 mL, et la reproductibilité des tracés. Au moins trois manœuvres acceptables ont été réalisées, avec concordance des mesures de CRF dans une marge de 5 % [23,24]. Les techniciens étaient certifiés en exploration fonctionnelle respiratoire avec formation spécifique à la pléthysmographie.

La distension pulmonaire a été définie selon deux critères complémentaires : 1) un rapport VR/CPT > 0,35, reflétant le piégeage gazeux distal et l'obstruction des petites voies aériennes, et/ou 2) une CPT > 120% de la valeur prédite, traduisant une hyperéxpansion pulmonaire globale. L'utilisation conjointe (opérateur « et/ou ») permet de capturer différents phénotypes de distension, incluant piégeage isolé, hyperéxpansion isolée ou une association des deux. Cette approche composite est conforme aux recommandations récentes de la littérature [2,5, 16, 17]. Par ailleurs, l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé selon la formule poids (kg)/taille² (m²). L'analyse a distingué les valeurs selon le sexe afin d'explorer d'éventuelles différences entre hommes et femmes.

La taille d'échantillon a été calculée a priori pour estimer une prévalence attendue de distension pulmonaire de 60 % avec une précision de ± 11 % et un risque α de 5 %, justifiant un effectif de 78 patients. Les données quantitatives sont exprimées en moyennes ± écart-types, et les données qualitatives en effectifs et pourcentages avec leurs intervalles de confiance à 95 % (IC 95 %), calculés selon la méthode de Wilson. Les comparaisons bivariées ont été réalisées par test de Student pour les variables quantitatives et test du χ^2 pour les variables qualitatives. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS 22.

Des analyses multivariées par régression logistique ont été réalisées pour identifier les facteurs indépendamment associés à la présence de distension pulmonaire. Les variables indépendantes incluses étaient l'âge (par 10 ans), le sexe (femme vs homme), l'IMC (par unité), le tabagisme (oui vs non) et la dose de corticostéroïde inhalé (par 100 µg/jour). Toutes les variables continues ont été standardisées avant l'analyse. Les résultats ont été exprimés en odds ratios (OR) avec leurs intervalles de confiance à 95 % (IC 95 %). Une valeur de $p < 0,05$ a été considérée comme statistiquement significative. L'étude a été conduite conformément à la Déclaration d'Helsinki, avec consentement éclairé des participants et accord du comité d'éthique local

3. RÉSULTATS

Caractéristiques démographiques

L'étude a porté sur un total de 78 patients asthmatiques répondant aux critères d'inclusion. L'âge moyen de la population était de 42,5 ± 13,2 ans, avec des valeurs extrêmes comprises entre 18 et 65 ans, traduisant une population adulte jeune d'âge moyen. Concernant la répartition par sexe, l'échantillon comprenait 41 femmes (52,6 %, IC 95 % [41,6-63,3]) et 37 hommes (47,4 %, IC 95 % [36,7-58,4]), sans différence significative entre les deux groupes (p = 0,41), ce qui indique une distribution relativement équilibrée.

L'analyse de l'indice de masse corporelle (IMC) a montré des résultats contrastés selon le sexe. Chez les femmes, l'IMC moyen était de 27,1 ± 3,4 kg/m², ce qui correspond à une situation de surpoids selon les critères de l'OMS. En revanche, les hommes présentaient un IMC moyen de 23,8 ± 2,9 kg/m², situé dans la zone de normalité pondérale. Cette observation suggère une tendance à un excès pondéral plus marqué dans le groupe féminin, alors que la corpulence masculine restait globalement normale.

Dans l'ensemble, la population étudiée se caractérisait donc par une distribution équilibrée entre les sexes, un âge moyen en début de quarantaine, et une différence notable de profil pondéral entre hommes et femmes, bien que cette distinction n'ait pas modifié de façon significative la répartition générale de la cohorte (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques générales des patients.

Variable	Valeur globale (n=78)
Âge (ans, moyenne ± ET)	42,5 ± 13,2
Sexe (F/H)	41 / 37
VEMS (% prédite)	93,4 ± 7,1
VEMS/CVF	0,79 ± 0,04
DEM25–75 (% prédite)	82,1 ± 14,8
IMC Femmes (kg/m²)	27,1 ± 3,4
IMC Hommes (kg/m²)	23,8 ± 2,9

Parmi les 78 patients, 52 (66,7 %, IC 95 % [55,6-76,1]) présentaient une distension pulmonaire selon au moins un des critères définis. Le piégeage gazeux isolé (VR/CPT > 0,35) concernait 5 patients (6,4 %, IC 95 % [2,8-14,1]), l'hyperexpansion isolée (CPT > 120 %) 6 patients (7,7 %, IC 95 % [3,6-15,8]) et les deux anomalies simultanément 41 patients (52,6 %, IC 95 % [41,6-63,3]) (Tableau 2).

Tableau 2. Répartition des patients selon les critères de distension pulmonaire.

Critère	n	%	IC 95%
Aucun critère	26	33,3	[23,9 – 44,4]
VR/CPT > 0,35 seul	5	6,4	[2,8 – 14,1]
CPT > 120 % seule	6	7,7	[3.6 – 15,8]
VR/CPT > 0,35 et CPT > 120 % (les deux)	41	52,6	[41,6 – 63,3]
Au moins un critère (distension présente)	52	66,7	[55,6 – 76,1]

Distension pléthysmographique

Sur les 78 patients inclus, la pléthysmographie corporelle a mis en évidence une distension pulmonaire chez 52 patients (66,7 %, IC 95 % [55,6-76,1]) (Figure 1). Pour les besoins de l'analyse descriptive, la distension a été subdivisée en trois stades (léger, modéré, sévère) selon les seuils de VR/CPT et de CPT décrits dans la littérature en pathologie obstructive [11] (Tableau 3).

Tableau 3. Comparaison des volumes pulmonaires selon la distension

Paramètre	Distension (n=52)	Sans distension (n=26)	p-value
CPT (% prédite)	125 ± 15	101 ± 9	<0,001
VR (% prédite)	153 ± 21	98 ± 12	<0,001
VR/CPT	0,41 ± 0,05	0,30 ± 0,03	<0,001

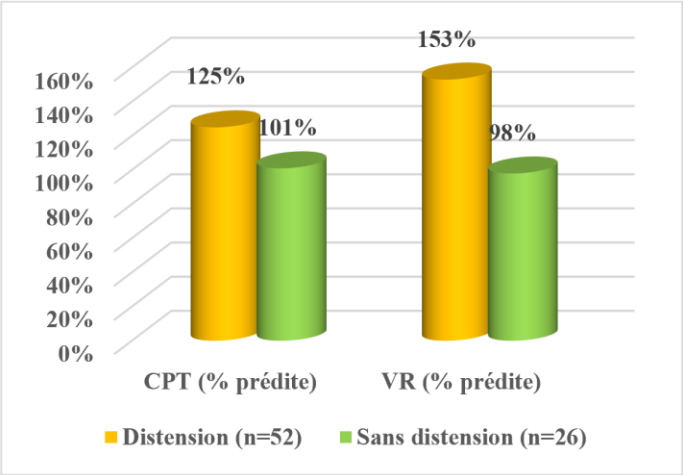

Figure 1. Comparaison des volumes pulmonaires (CPT et VR) entre patients avec et sans distension.

La classification par stades a montré que 34 patients (43,6 %, IC 95 % [33,1-54,6]) présentaient une distension stade 1 (légère), définie par un rapport VR/CPT compris entre 0,36 et 0,39 et/ou une CPT entre 120 et 130 % de la valeur prédite. Cette catégorie représentait environ les deux tiers des cas de distension (Figure 2).

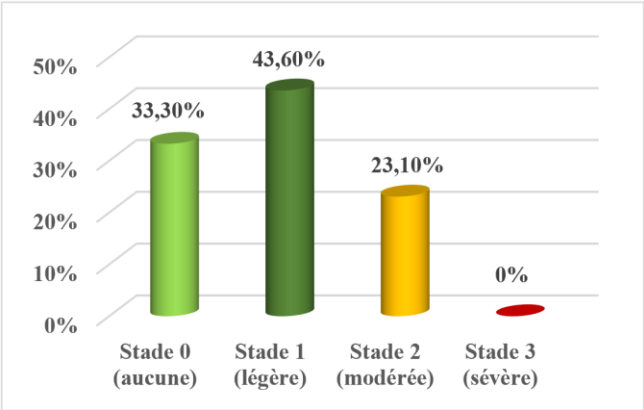

Figure 2. Répartition des stades de distension (0 à 3) avec effectifs et pourcentages.

Un plus petit groupe de 18 patients (23,1 %, IC 95 % [15,1-33,6]) présentait une distension stade 2 (modérée), caractérisée par un rapport VR/CPT compris entre 0,40 et 0,44 et/ou une CPT entre 131 et 140 % de la valeur prédite. Aucune distension stade 3 (sévère), définie par un rapport VR/CPT ≥ 0,45 et/ou une CPT > 140 % prédite, n'a été observée dans cette cohorte (Tableau 4).

Tableau 4. Répartition des patients selon les stades de distension pléthysmographique.

Stade de distension	Définition (VR/CPT et/ou CPT)	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Stade 0 (aucune)	VR/CPT ≤ 0,35 et CPT ≤ 120 %	26	33,3 %
Stade 1 (légère)	VR/CPT 0,36–0,39 et/ou CPT 120–130 %	34	43,6 %
Stade 2 (modérée)	VR/CPT 0,40–0,44 et/ou CPT 131–140 %	18	23,1 %
Stade 3 (sévère)	VR/CPT ≥ 0,45 et/ou CPT > 140 %	0	0 %

L'analyse comparative selon le sexe n'a pas montré de différence significative dans la distribution des stades de distension (p = 0,41). De plus, l'indice de masse corporelle (IMC) n'était pas associé de manière significative à la présence ni à la sévérité de la distension (p = 0,27). Ces résultats suggèrent que, dans cette population d'asthmatiques contrôlés avec spirométrie normale, la distension pléthysmographique est fréquente mais reste majoritairement légère à modérée, sans influence notable du sexe ou du statut pondéral.

Analyse multivariée des facteurs associés à la distension pulmonaire

Une régression logistique multivariée a été réalisée pour identifier les déterminants indépendants de la distension pulmonaire (Tableau 5). Aucun des facteurs démographiques ou thérapeutiques examinés n'était significativement associé à la présence de distension en analyse multivariée. L'âge tendait à être un facteur protecteur (OR = 0,69 par 10 ans, IC 95 % [0,41-1,17], p = 0,172), mais cette association n'était pas statistiquement significative. De même, le sexe féminin (OR = 0,70, IC 95 % [0,37-1,34], p = 0,281), l'IMC (OR = 0,91 par unité, IC 95 % [0,56-1,47], p = 0,694) et le tabagisme (OR = 2,70, IC 95 % [0,29-25,28], p = 0,384) n'exerçaient pas d'influence indépendante significative. La dose de corticostéroïde inhalé n'était pas associée au risque de distension (OR = 1,06 par 100 µg/jour, IC 95 % [0,66-1,71], p = 0,815).

Tableau 5. Régression logistique multivariée des facteurs associés à la distension pulmonaire.

Variable	OR	IC 95%	p-value
Âge (par 10 ans)[a]	0,69	[0,41 – 1,17]	0,172
Sexe (Femme vs Homme)	0,70	[0,37 – 1,34]	0,281
IMC (par unité)[a]	0,91	[0,56 – 1,47]	0,694
Tabagisme (Oui vs Non)	2,70	[0,29 – 25,28]	0,384
Dose CSI (par 100 µg/jour)[a]	1,06	[0,66 – 1,71]	0,815

4. DISCUSSION

Cette étude démontre qu'une proportion élevée (66,7 %) d'asthmatiques cliniquement contrôlés avec une spirométrie normale présentent une distension pulmonaire objectivée par la pléthysmographie. Ces résultats confirment que la spirométrie, bien qu'essentielle dans le suivi de l'asthme, ne permet pas d'appréhender pleinement l'ensemble des anomalies ventilatoires, en particulier celles liées aux volumes pulmonaires et au piégeage gazeux [1–4].

L'analyse séparée révèle que le pattern prédominant est la distension mixte (52,6 %), suivie du pattern isolé de piégeage gazeux (6,4 %) et d'hyperexpansion globale (7,7 %). Cette prédominance de la distension mixte suggère une interaction complexe entre obstruction des petites voies aériennes et adaptation mécanique thoraco-pulmonaire. L'utilisation conjointe des deux critères, validée dans la littérature, apparaît nécessaire pour identifier les différents phénotypes de distension dans l'asthme contrôlé.

L'absence d'association indépendante significative entre les facteurs démographiques (âge, sexe, IMC), les antécédents tabagiques et la dose de traitement d'une part, et la présence de distension pulmonaire d'autre part, suggère que la distension est une manifestation précoce et intrinsèque de la physiopathologie asthmatique, peu dépendante des facteurs de risque classiques. Cette observation contraste avec la BPCO, où l'âge et le tabagisme sont fortement associés à l'hyperinflation. La majorité des asthmatiques bien contrôlés et normo-spirométriques de notre cohorte présentaient une distension pléthysmographique, indépendamment de leur profil démographique ou thérapeutique, soulignant l'importance du dépistage systématique par pléthysmographie dans la population asthmatique.

L'importance clinique de ces résultats réside dans le fait que la distension peut persister même en l'absence de symptômes et malgré un traitement optimal. Mahut et al. [7] ont ainsi retrouvé des anomalies pléthysmographiques chez des enfants asthmatiques traités, malgré une spirométrie normale. De la même manière, van der Meer et al. [8] ont montré que l'hyperinflation dynamique altère significativement la qualité de vie, même chez des patients asymptomatiques. Pérez et al. [9] ont rapporté une prévalence proche de 50 % d'hyperinflation chez des asthmatiques normo-spirométriques, ce qui rapproche nos résultats de ceux observés dans d'autres cohortes. Ces observations soulignent la pertinence clinique d'un dépistage systématique par pléthysmographie, même lorsque les indicateurs classiques (VEMS, rapport VEMS/CVF) sont rassurants.

Sur le plan physiopathologique, la distension pulmonaire reflète principalement un piégeage gazeux distal lié à une obstruction incomplète des petites voies aériennes [18,19]. Cette obstruction entraîne une augmentation du volume résiduel (VR), une réduction

de la capacité inspiratoire et, in fine, une élévation du travail respiratoire [10-12,20]. Ces mécanismes peuvent contribuer à une limitation fonctionnelle, souvent masquée par l'absence de symptômes cliniques manifestes. Ainsi, la distension constitue un marqueur de la maladie des petites voies aériennes, longtemps considérée comme le « maillon caché » de l'asthme.

Dans notre cohorte, les femmes présentaient en moyenne un IMC en zone de surpoids, alors que les hommes avaient un IMC moyen normal. Ce constat est en accord avec les observations de Jones et Nzekwu [5] ainsi que de Salome et al. [6], qui ont montré l'influence du surpoids sur les volumes pulmonaires et la mécanique ventilatoire. Toutefois, dans notre étude, l'IMC n'était pas significativement associé à la présence ni à la sévérité de la distension. Cela suggère que la distension pléthysmographique reflète avant tout une atteinte des petites voies aériennes, indépendamment du statut pondéral, bien que le rôle du surpoids dans la modulation des symptômes et de la mécanique respiratoire ne doive pas être négligé.

Cette étude transversale monocentrique comporte plusieurs limitations importantes qui conditionnent l'interprétation des résultats. Premièrement, l'absence de DLCO et d'imagerie thoracique systématique (100 % des patients) limite la caractérisation complète du phénotype fonctionnel et la confirmation radiologique de l'hyperinflation. Ces investigations auraient permis d'identifier d'éventuelles anomalies structurelles sous-jacentes (emphysème, bronchiectasies) ou d'autres pathologies pulmonaires expliquant la distension observée.

Deuxièmement, le caractère transversal de l'étude empêche d'établir un lien causal entre la distension détectée et les manifestations cliniques réelles (exacerbations, limitation d'activité, qualité de vie). Aucune donnée longitudinale ne confirme que la correction de la distension améliore les symptômes ou les résultats fonctionnels chez les asthmatiques asymptomatiques et bien traités.

Troisièmement, l'effectif limité (n = 78) provenant d'un centre unique restreint la généralisabilité des résultats à d'autres populations ou contextes géographiques. L'absence de groupe contrôle (asthmatiques sévères, BPCO) limite également notre capacité à interpréter si la prévalence observée est spécifique à cette population.

Quatrièmement, la prévalence élevée de distension (66,7 %) soulève la question d'un possible artéfact méthodologique : les critères retenus (VR/CPT > 0,35 et/ou CPT > 120 %) pourraient identifier des variations physiologiques normales plutôt que de véritables anomalies pathologiques.

Ces résultats ouvrent plusieurs perspectives. La pléthysmographie corporelle apparaît comme un outil complémentaire incontournable pour détecter précocement les anomalies ventilatoires chez les asthmatiques, même lorsque la spirométrie est normale. Elle pourrait permettre d'identifier les patients « à risque silencieux » de progression vers un remodelage bronchique et un déclin de la fonction respiratoire [21-23].

Sur le plan thérapeutique, la détection précoce d'une distension pourrait aider à adapter plus finement le traitement. En effet, certaines études suggèrent que les corticostéroïdes inhalés réduisent partiellement l'inflammation distale mais ne corrigent pas toujours le piégeage gazeux. De nouvelles stratégies, telles que l'utilisation de particules extrafines capables d'atteindre les petites voies aériennes, pourraient être plus efficaces dans ce contexte. De plus, les biothérapies ciblant l'inflammation de type 2, en particulier les anti-IL-5 et anti-IL-4/13, pourraient contribuer indirectement à réduire l'hyperinflation en diminuant l'inflammation bronchique persistante. Enfin, la réhabilitation respiratoire et les interventions sur le mode de vie (perte de poids, activité physique adaptée) pourraient améliorer la mécanique ventilatoire et limiter les conséquences de la distension, même si leur impact direct reste à démontrer.

Ainsi, la pléthysmographie ne doit pas seulement être envisagée comme un outil diagnostique, mais également comme un instrument d'aide à la décision thérapeutique, permettant de personnaliser le traitement et d'anticiper l'évolution fonctionnelle de l'asthme.

5. CONCLUSION

Chez les asthmatiques bien contrôlés présentant une spirométrie normale, la pléthysmographie révèle une distension pulmonaire dans 66,7 % des cas. Cette découverte démontre que la spirométrie seule est insuffisante pour caractériser complètement les anomalies fonctionnelles respiratoires dans cette population. La pléthysmographie corporelle identifie des défauts d'expiration (piégeage gazeux) et/ou d'hyperexpansion que les tests classiques ne détectent pas.

Ces résultats soulignent l'importance d'intégrer la pléthysmographie dans l'évaluation fonctionnelle systématique de l'asthme contrôlé, particulièrement pour identifier les patients présentant un profil d'hyperinflation précoce. Des études prospectives évaluant l'impact thérapeutique et clinique de cette détection seront nécessaires pour définir les implications pratiques de ces anomalies.

Competing interests: The authors declare that they have no competing interest.

Funding: This research received no external funding.

REFERENCES

1. Global Initiative for Asthma. Global strategy for asthma management and prevention [Internet]. 2024 [cited 2025 Sep 20]. Available from: https://ginasthma.org
2. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. Eur Respir J. 2005;26(5):948-68. doi: 10.1183/09031936.05.00035205
3. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. Eur Respir J. 2005;26(2):319-38. doi: 10.1183/09031936.05.00034805
4. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry: the global lung function 2012 equations. Eur Respir J. 2012;40(6):1324-43. doi: 10.1183/09031936.00080312
5. Jones RL, Nzekwu MM. The effects of body mass index on lung volumes. Chest. 2006;130(3):827-33. doi: 10.1378/chest.130.3.827
6. Salome CM, King GG, Berend N. Physiology of obesity and effects on lung function. J Appl Physiol (1985). 2010;108(1):206-11. doi: 10.1152/japplphysiol.00694.2009
7. De Blic J, Tillie-Leblond I, Emond S, Mahut B. High-resolution computed tomography scan and airway remodeling in children with severe asthma. J Allergy Clin Immunol. 2005;116(4):750-4. doi: 10.1016/j.jaci.2005.07.009
8. Van der Meer AN, Smeenk FW, Rutgers SR, Postma DS. Reversibility of dynamic hyperinflation during exercise in asthma. Eur Respir J. 1998;12(4):865-71. doi: 10.1183/09031936.98.12040865
9. Pérez T, Chanez P, Dusser D, Devouassoux G, Didier A, Roche N, et al. Small airway impairment in moderate to severe asthmatics. Respir Med. 2013;107(11):1667-74. doi: 10.1016/j.rmed.2013.08.008
10. O'Donnell DE, Laveneziana P. Dyspnea and activity limitation in COPD: mechanical factors. COPD. 2007;4(3):225-36. doi: 10.1080/15412550701480455
11. Scichilone N, Battaglia S, La Sala A, Bellia V. Clinical implications of airway hyperresponsiveness in asthma. Respir Med. 2007;101(9):1891-9. doi: 10.1016/j.rmed.2007.04.006
12. Cottini M, Licini A, Lombardi C, Bagnasco D. Small airway dysfunction in asthma: pathophysiological and clinical aspects. Clin Mol Allergy. 2018;16:9. doi: 10.1186/s12948-018-0090-2
13. Nathan RA, Sorkness CA, Kosinski M, Schatz M, Li JT, Marcus P, et al. Development of the asthma control test: a survey for assessing asthma control. J Allergy Clin Immunol. 2004;113(1):59-65. doi: 10.1016/j.jaci.2003.09.008
14. Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. Eur Respir J. 2005;26(3):511-22. doi: 10.1183/09031936.05.00035005
15. Graham BL, Steenbruggen I, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, Hallstrand TS, et al. Standardization of spirometry 2019 update: an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. Am J Respir Crit Care Med. 2019;200(8):e70-88. doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST
16. Koopman M, van der Molen T, Wijkstra PJ, et al. Lung hyperinflation as treatable trait in chronic obstructive pulmonary diseases: influence on quality of life and physical activity. J Clin Med. 2024;13(14):4032. doi: 10.3390/jcm13144032
17. De Broucker V, Crisafulli E, Bonini M, et al. Assessment of lung hyperinflation in occupational chronic obstructive pulmonary disease and asthma. BMJ Open Respir Res. 2023;10(1):e001846. doi: 10.1136/bmjresp-2022-001846
18. Kwan JM, Wang J, Dandurand RJ, Fitzgerald JM, Sin DD. Hyperinflation in asthma and COPD: clinical implications. Can Respir J. 2016;2016:6132831. doi: 10.1155/2016/6132831
19. Contoli M, Bousquet J, Fabbri LM, Magnussen H, Rabe KF, Siafakas NM, et al. The small airways and distal lung compartment in asthma and COPD: a time for reappraisal. Allergy. 2010;65(2):141-51. doi: 10.1111/j.1398-9995.2009.02193.x
20. O'Donnell DE, Laveneziana P, Webb KA, Neder JA. Chronic obstructive pulmonary disease: clinical integrative physiology. Clin Chest Med. 2014;35(1):51-69. doi: 10.1016/j.ccm.2013.10.006
21. Verbanck S, Schuermans D, Vincken W, Schuermans W, Paiva M, Hanon S, et al. Detecting small airways dysfunction in asthma. Chest. 2013;143(2):461-9. doi: 10.1378/chest.12-0639
22. Scichilone N, Benfante A, Morici G, Bellia V. Impact of small airway dysfunction on the clinical expression of asthma: a cross-sectional study. Respir Med. 2013;107(3):382-90. doi: 10.1016/j.rmed.2012.11.021
23. Usmani OS, Singh D, Spinola M, Bizzi A, Barnes PJ. The prevalence of small airways disease in adult asthma: a systematic literature review. Respir Med. 2016;116:19-27. doi: 10.1016/j.rmed.2016.05.006