



REVISIÓN

Uso correcto de inhaladores en adultos: del conocimiento a la aplicación

Correct use of inhalers in adults: from knowledge to application

Carlos Horta^a✉, Loreto Sáez^b, Jorge Jorquera^c.

^a Laboratorio de Función Pulmonar, Clínica BUPA Santiago. Santiago, Chile.

^b Laboratorio de Función Pulmonar, Centro de Enfermedades Respiratorias y Cirugía Torácica, Clínica Las Condes. Santiago, Chile.

^c Centro de Enfermedades Respiratorias y Cirugía Torácica, Clínica Las Condes. Santiago, Chile.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del Artículo:

Recibido: 27 06 2024

Aceptado: 26 07 2024

Key words:

COPD; Aerosols; Inhalation Technique; Metered Dose Inhalers; Dry Powder Inhalers; Aerochambers

Palabras clave:

EPOC; Aerosolterapia; Técnica Inhalatoria; Inhaladores Presurizados de Dosis Medida (pMDI); Inhaladores de Polvo Seco (DPI); Aerocámaras

RESUMEN

La administración de fármacos mediante inhalación se ha consolidado como la principal vía de administración para tratar enfermedades pulmonares obstructivas. En este contexto, el depósito eficiente de las partículas de medicamento en la vía aérea desempeña un papel fundamental en la eficacia del tratamiento inhalado, ofreciendo beneficios superiores en términos de rapidez y reducción de efectos sistémicos en comparación con otras vías de administración.

Es crucial asegurar que una cantidad suficiente de medicamento alcance más allá de la zona orofaríngea para garantizar la efectividad terapéutica. Dentro de los dispositivos disponibles para esta forma de administración, los inhaladores de dosis medida presurizados (pMDI) y los inhaladores de polvo seco (DPI) son los más utilizados. Cabe mencionar que, en esta revisión, no se abordan los dispositivos de nebulización. Aunque la diversidad de opciones terapéuticas es beneficiosa, la disponibilidad de distintos dispositivos puede generar cierta complejidad al momento de instruir a los pacientes sobre su correcta utilización. Por consiguiente, resulta vital que los pacientes sigan de forma precisa la técnica de inhalación recomendada. Los errores en el manejo del dispositivo pueden llevar a una distribución inadecuada del fármaco, lo que reducirá la dosis efectiva y comprometerá la eficacia del tratamiento. En esta revisión se presentan explicaciones detalladas del mecanismo de acción de estos dispositivos, así como instrucciones prácticas para el personal encargado del cuidado del paciente. Se enfatiza la importancia de una correcta técnica de inhalación para maximizar la eficacia del tratamiento y garantizar un uso óptimo del fármaco.

ABSTRACT

The administration of drugs via inhalation has become the primary route for treating obstructive pulmonary diseases. In this context, the efficient deposition of medication particles in the airway plays a fundamental role in the effectiveness of inhaled therapy, offering superior benefits in terms of speed and reduction of systemic effects compared to other routes of administration. It is crucial to ensure that a sufficient amount

✉ Autor para correspondencia

Correo electrónico: horta.toledo@gmail.com

<https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2024.07.002>

e-ISSN: 2531-0186 / ISSN: 0716-8640/© 2024 Revista Médica Clínica Las Condes.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



of medication reaches beyond the oropharyngeal region to guarantee therapeutic effectiveness. Among the available devices for this form of administration, pressurized metered-dose inhalers (pMDIs) and dry powder inhalers (DPIs) are the most commonly used. It is worth mentioning that nebulization devices are not covered in this review.

Although the diversity of therapeutic options is beneficial, the availability of different devices can create some complexity when instructing patients on their proper use. Consequently, it is vital for patients to precisely follow the recommended inhalation technique. Errors in device handling can lead to improper drug distribution, reducing the effective dose and compromising treatment efficacy. This review provides detailed explanations of the mechanism of action of these devices, as well as practical instructions for patient care personnel. Emphasis is placed on the importance of correct inhalation technique to maximize treatment efficacy and ensure optimal drug use.

INTRODUCCIÓN

La terapia inhalatoria es un método fundamental en el tratamiento médico, que consiste en la administración directa de medicamentos a los pulmones mediante la inhalación. Este enfoque terapéutico es ampliamente utilizado para tratar diversas condiciones respiratorias, como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), fibrosis quística, entre otras^{1,2}.

Los medicamentos administrados mediante terapia inhalatoria incluyen broncodilatadores, corticosteroides, anticolinérgicos y otros agentes destinados a aliviar síntomas respiratorios, reducir la inflamación bronquial y mejorar la función pulmonar. La inhalación permite que estos medicamentos actúen de manera más eficaz y rápida en comparación con la administración oral.

Existen diferentes dispositivos para la terapia inhalatoria, como inhaladores de dosis medida (MDI, por sus siglas en inglés), nebulizadores y dispositivos de polvo seco³. La correcta técnica de inhalación es crucial para asegurar que la dosis adecuada del medicamento alcance los pulmones⁴. Esta forma de administración juega un papel fundamental en el manejo de enfermedades respiratorias, contribuyendo significativamente a mejorar la calidad de vida de los pacientes.

LA VÍA INHALATORIA

La terapia inhalatoria ofrece ventajas significativas en comparación con otras formas de administración. La administración directa al pulmón permite lograr concentraciones terapéuticas elevadas con dosis inhaladas mucho menores que las sistémicas, lo que mejora la función pulmonar y reduce los efectos secundarios en todo el organismo⁵. Además, la rápida velocidad de acción en el pulmón, que puede manifestarse en cuestión de minutos en algunos casos, constituye una ventaja crucial de la administración inhalada⁶.

A menudo se asume que la efectividad de un fármaco depende de su concentración en el lugar de acción. No obstante, es

importante tener en cuenta que el pulmón no es uniforme, sino más bien complejo, con una vía de acceso ramificada y diversas estructuras morfológicas especializadas que incluyen las vías respiratorias conductivas, bronquiolos y alvéolos⁷. Esta complejidad pulmonar da lugar a procesos farmacocinéticos específicos en la administración inhalatoria⁸. En este sentido, las características del fármaco inhalado, como su naturaleza fisicoquímica, formulación y dispositivo de administración; que a su vez se ven influenciados por aspectos del paciente, como su habilidad técnica en la inhalación, tendrán un impacto directo en la eficacia de la terapia⁹.

PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DEPÓSITO DE PARTÍCULAS EN EL TRACTO RESPIRATORIO

En el contexto de la correcta utilización de la terapia inhalada, un aspecto crítico radica en el depósito de partículas del medicamento. Durante la inhalación, una porción de la dosis se deposita en el dispositivo mismo, mientras que el resto se dispersa en la orofaringe, las vías respiratorias y/o los pulmones. La cantidad total de medicamento que llega a los pulmones se conoce como "dosis pulmonar", y los patrones de depósito se dividen en centrales (en las vías respiratorias más grandes) y periféricos (en las vías más pequeñas y en el espacio alveolar). Estos patrones están influenciados por factores como el tamaño de las partículas, la velocidad de inhalación, las características del dispositivo y aspectos relacionados con la enfermedad del paciente^{10,11}. Los dispositivos de inhalación generan aerosoles con partículas de distintos tamaños, clasificados por su diámetro de masa media aerodinámica (DMMA, por sus siglas en inglés). Un tamaño óptimo para que las partículas se depositen en los alvéolos y las pequeñas vías respiratorias es de 0,5-5 µm de DMMA. Una vez que las partículas son inhaladas correctamente, la efectiva deposición del fármaco se convierte en un paso fundamental, implicando diversos mecanismos, entre los cuales destacan la impactación inercial, la sedimentación y la difusión (véase tabla 1 y figura 1)¹².

Tabla 1. Mecanismo de deposición en los pulmones de acuerdo al tamaño de las partículas

Tamaño de la partícula	Mecanismo	Lugar de depósito
Mayor a 5 μm	Impactación inercial	Orofaringe y vía aérea conductiva
0,5-5 μm	Sedimentación	Bronquios, bronquiolos y alvéolos
0,5-3 μm	Sedimentación y difusión	
Menor a 0,5 μm	Difusión y movimiento browniano	Región alveolar-exhalación

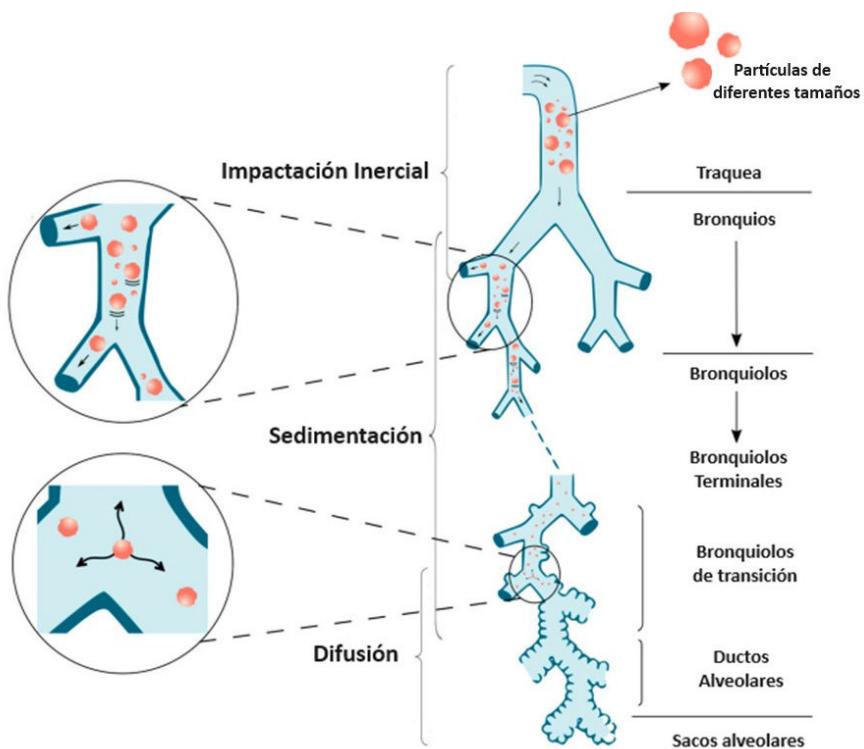
Adaptado de Magramane et al (2023)¹².

Impactación inercial: destaca como el principal mecanismo de depósito en la orofaringe y las vías respiratorias conductivas. Las partículas con un diámetro superior a 5 μm , al ser consideradas de gran tamaño, experimentan inercia y resisten los cambios bruscos en dirección y velocidad. Este fenómeno desvía a estas partículas de su trayectoria inicial en el flujo de aire, llevándolas a impactar finalmente contra las paredes de las vías respiratorias superiores^{13,14}, constituyendo uno de los principales mecanismos de pérdida de fármaco¹⁵.

Sedimentación: este mecanismo afecta a partículas con tamaños entre 0,5 y 5 μm . A medida que estas partículas se desplazan más profundamente en los pulmones, especialmente en los bronquios, bronquiolos y la región alveolar, su velocidad disminuye, reduciendo así la probabilidad de depósito por impactación. El proceso de sedimentación influye en las partículas que han superado la impactación y han llegado a las generaciones 5a y 6a del pulmón. Con el incremento del tiempo y la reducción de la velocidad del flujo de aire, las partículas comienzan a asentarse debido a la fuerza gravitatoria. Favorecer este mecanismo en los pacientes es crucial para mejorar el depósito pulmonar, lo cual se logra reteniendo la respiración después de la inhalación al usar algún dispositivo de terapia inhalatoria. Las partículas con diámetros de 3-5 μm alcanzan la región traqueobronquial por sedimentación, mientras que se espera que las partículas de 0,5-3 μm alcancen la región alveolar mediante sedimentación y difusión¹³⁻¹⁵.

Difusión: el depósito en las vías respiratorias inferiores y en la región alveolar de partículas de tamaño inferior a 0,5 μm se rige principalmente por este proceso, el cual está impulsado por el movimiento browniano: la trayectoria impredecible de las partículas debido a sus colisiones con las partículas de gas circundantes. Debido a su tamaño reducido, la mayoría de estas partículas son exhaladas, depositándose solo unas pocas¹³⁻¹⁵.

Figura 1. Mecanismo de deposición en los pulmones de acuerdo con el tamaño de las partículas



Adaptado de Magramane et al (2023)¹².

En resumen, el depósito de partículas juega un papel fundamental en la eficacia de las formas de dosificación inhaladas. Es crucial lograr que una cantidad suficientemente alta de la dosis de medicamento se deposite más allá de la región orofaríngea para garantizar la efectividad de la administración.

INHALADORES PRESURIZADOS DE DOSIS MEDIDA (pMDI, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

La introducción de los inhaladores presurizados de dosis medida (pMDI) en la década de 1950 marcó un hito en la entrega personalizada y ampliamente accesible de terapias inhaladas para el tratamiento farmacológico de enfermedades obstructivas de las vías respiratorias, como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). A lo largo del tiempo, estos dispositivos han demostrado su valía en términos de beneficio/riesgo y tolerabilidad. A pesar de sus ventajas, los pMDI presentan una debilidad significativa: su tendencia a ser utilizados de manera subóptima o incorrecta¹⁶. Este problema ha sido reconocido desde los inicios de estos dispositivos y lamentablemente sigue siendo prevalente en la actualidad. El uso inadecuado de los pMDI puede impactar negativamente en la eficacia, seguridad y adherencia al tratamiento por parte de los pacientes.

Componentes y formulación

El pMDI representado en la figura 2, es un dispositivo portátil y con múltiples dosis que se compone de un envase de aluminio (llamado *canister*) colocado en un soporte de plástico (actuador). El *canister* contiene una suspensión o solución presurizada de partículas de medicamento micronizadas dispersas en un propelente y co-solventes. La tecnología de los pMDI experimentó una evolución

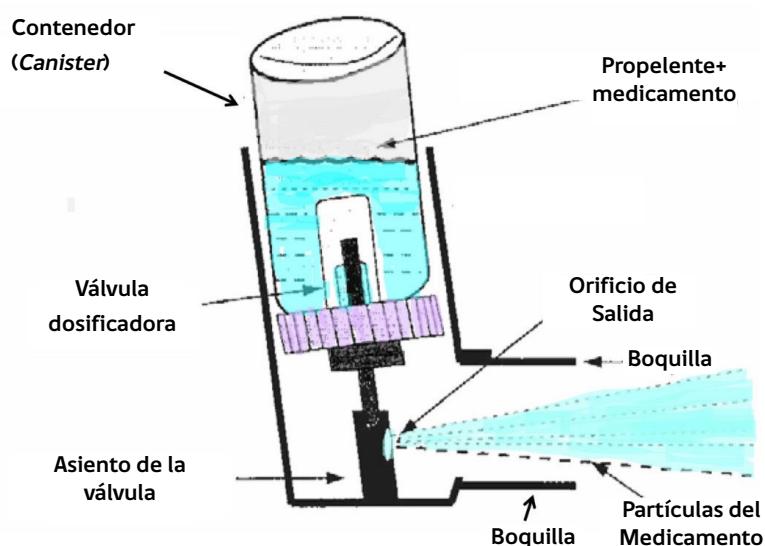
constante desde mediados de la década de 1950 hasta mediados de la década de 1980. Hasta hace poco, estos dispositivos solían emplear clorofluorocarbonos (CFC) como propelentes para administrar los medicamentos. Sin embargo, siguiendo las directrices del Protocolo de Montreal de 1987, los propelentes CFC están siendo sustituidos por hidrofluoroalcanos (HFA), que poseen un menor potencial de calentamiento global¹⁷. En términos de eficacia, el depósito a nivel orofaríngeo es menor con los HFA que con los CFC, debido a que tienen una menor velocidad de salida, factor que incide en la posibilidad de alcanzar las vías aéreas periféricas, produciendo una mejor penetración pulmonar.

Un componente fundamental del pMDI es la válvula dosificadora o de medición, la cual libera en cada activación un volumen preciso y conocido de propelente que contiene el medicamento micronizado. Al presionar el canister, se produce la liberación de la formulación dentro de la cámara dosificadora, generando explosivamente un aerosol heterodisperso de gotas a través de un vástago hacia una boquilla de atomización, conformado por diminutas partículas de medicamento envueltas en una capa de propelente. Este último se evapora rápidamente con el paso del tiempo y la distancia, lo que resulta en una reducción del tamaño de las partículas¹⁸.

Depósito

Para maximizar el depósito en las vías respiratorias de un fármaco administrado mediante pMDI, se requiere una inhalación lenta (a 30 l/min), profunda, que comience inmediatamente después de la activación del pMDI, seguida de una pausa en la retención de la respiración de al menos 4 segundos, preferiblemente hasta 10 segundos. Incluso con una técnica óptima y el uso de modernos propelentes de hidrofluoroalcano, los pMDI solo logran entregar

Figura 2. Componentes de un inhalador de dosis medida presurizado (pMDI)



aproximadamente el 20% de la dosis emitida a las vías respiratorias inferiores, dejando alrededor del 80% en la orofaringe¹⁹. Con una técnica subóptima o incorrecta, esta fracción puede reducirse aún más, incluso a cero.

Ventajas y desventajas

Los inhaladores presurizados de dosis medida (pMDI) presentan varias ventajas: son compactos, portátiles, relativamente económicos y contienen al menos 200 dosis medidas por envase listas para su uso inmediato. Además, aproximadamente el 40% de las partículas de aerosol generadas se encuentra dentro del rango respirable (con un diámetro aerodinámico inferior a 5 µm), y la dosificación suele ser altamente reproducible de una dosis a otra²⁰⁻²². A pesar de estas ventajas, la mayoría de los pacientes tienen dificultades para utilizar correctamente los pMDI, incluso después de recibir instrucciones repetidas^{23,24}. Esto se debe a que se requiere una buena coordinación entre la inspiración del paciente y la activación del inhalador para garantizar una inhalación y un depósito adecuada del medicamento en los pulmones. La técnica correcta de inhalación con pMDI implica activarlo mientras se realiza una inhalación profunda y lenta, continuar inhalando después de la activación y luego hacer una pausa en la respiración para permitir el depósito de las partículas en las vías respiratorias²⁴. Además, es importante que los pacientes agiten el pMDI antes de usarlo para asegurar una correcta mezcla de la formulación²⁵. Otra desventaja de algunos pMDI es la falta de contadores integrados para alertar al paciente cuando el inhalador se está agotando. Aunque muchos pMDI contienen más dosis de las indicadas, la entrega de medicamento por cada activación puede volverse muy inconsistente e impredecible después de alcanzar el número indicado de activaciones. Más allá de este punto, los propelentes podrían liberar una nube de aerosol que contiene poco o ningún medicamento, lo que se conoce como "*tail-off*"²⁵.

Uso de espaciador o aerocámara valvulada

La técnica de usar un espaciador (un reservorio adicional ubicado entre la boquilla del pMDI y la boca del paciente) o una aerocámara valvulada (VHC) (un reservorio con una válvula unidireccional que permite el flujo de aire hacia adentro, pero no hacia afuera, de la boca del paciente) antes de la inhalación fue desarrollada en la década de 1950^{26,27} para abordar ciertos problemas y errores potencialmente críticos al usar un pMDI. Utilizar un espaciador/VHC ralentiza las partículas aerosolizadas emitidas por el pMDI, lo que puede potencialmente mejorar el depósito pulmonar de las partículas finas respirables. De manera significativa, también filtra y reduce el depósito orofaringeo de las partículas más grandes liberadas por un pMDI²⁸. El empleo adecuado de un espaciador/VHC aborda el común y crítico problema de la mala coordinación entre la activación del pMDI y el inicio de la inhalación¹⁶. Aunque sigue siendo importante lograr cierta sincronización entre la activación del pMDI y la inhalación, el uso de un espaciador/VHC proporciona

a los pacientes un período de tiempo más amplio para lograr esta coordinación de manera efectiva. Además, existen pMDI activados por la respiración para la administración de algunos fármacos inhalados, los cuales también pueden ayudar a corregir la falta de coordinación, aunque no ofrecen todos los beneficios potenciales de un espaciador/VHC. Es importante tener en cuenta que ningún dispositivo espaciador puede eliminar por completo la tendencia de los pacientes a no contener la inhalación o a inhalar de forma demasiado rápida, aunque recientemente se han implementado ciertas soluciones, como avisos de sonido de silbato activados por un flujo por encima de un umbral específico, así como dispositivos que emiten un silbido cuando se usa correctamente²⁹.

Todos los pacientes que utilizan un pMDI para la administración de medicamentos inhalados deberían recibir la recomendación de emplear un espaciador/VHC tanto para los tratamientos regulares como para los de emergencia, especialmente aquellos pacientes que tienen dificultades para coordinar la activación del pMDI con la inhalación²⁹.

-Tamaño

Los espaciadores de volumen pequeño (hasta 100 ml) generalmente son extensiones en forma de tubo de la boquilla del pMDI y no poseen válvulas. A pesar de ser menos voluminosos, estos dispositivos son menos propensos a eliminar la necesidad de una coordinación adicional entre la activación del pMDI y el inicio de la inhalación por parte del paciente. Por otro lado, los espaciadores de volumen mediano (100-350 ml) y los de volumen grande (>700 ml) típicamente incluyen una válvula unidireccional en el extremo de la boquilla, lo que permite la inhalación desde el espaciador, pero evita la exhalación hacia él. Estos dispositivos, conocidos como VHC, brindan un mayor margen de tiempo para que el paciente inicie la inhalación después de activar el pMDI. Aunque son más voluminosos y menos portátiles, consideraciones teóricas sugieren que un espaciador/VHC óptimo debería tener un volumen de 100-700 ml y mantener una distancia de al menos 10 cm entre el pMDI y la boca del paciente³⁰.

-Válvulas

Los espaciadores sin válvulas, en forma de tubo abierto, simplemente separan el pMDI de la orofaringe del paciente. Por otro lado, los VHC, que integran una válvula unidireccional de baja resistencia detrás de la boquilla, retienen el aerosol dentro del dispositivo hasta que el paciente inhala y previenen que el aliento exhalado regrese al VHC. Esta característica permite que el VHC se utilice tanto con la respiración normal como con una inspiración profunda única. Es importante mencionar que una proporción significativa de niños muy pequeños, menores de 24 meses, puede no generar la suficiente presión inspiratoria (subatmosférica) para abrir la válvula unidireccional en varios VHC disponibles en el mercado. Por

lo tanto, se recomienda evaluar esta capacidad antes de recetar estos dispositivos³¹. Por otro lado, las válvulas pueden obstruirse si se ensucian o dañan, aunque este problema suele detectarse fácil y posiblemente se pueda resolver mediante la limpieza o la sustitución del dispositivo.

[VER INSTRUCTIVO pDMI \(Esquema A\)](#)

INHALADORES DE POLVO SECO (DPI)

Los inhaladores de polvo seco (DPI, por sus siglas en inglés) surgieron como una alternativa a los inhaladores de dosis medida presurizada (pMDI) para abordar los desafíos relacionados con la coordinación entre la activación del dispositivo y la inhalación. La técnica recomendada para utilizar los DPI garantiza la generación de una dosis de partículas capaz de depositarse en las vías respiratorias en cada inhalación. Se ha observado que las partículas con un tamaño entre 1 y 5 μm tienen la mejor capacidad de depositarse en los pulmones durante la inhalación³², lo que facilita una distribución uniforme en el sistema respiratorio³³. Esta parte de la dosis emitida por el inhalador se conoce como la dosis respirable o dosis de partículas finas.

Durante la generación y administración de la dosis, es crucial mantener un flujo constante y suave del polvo. Sin embargo, las partículas más pequeñas de 5 μm carecen de estas propiedades de flujo, lo que requiere ajustes en la formulación. Habitualmente, se mezclan las partículas micronizadas del medicamento con un portador inerte de partículas más grandes, comúnmente lactosa. Estos elementos se combinan, y el fármaco se adhiere al portador. Para liberar la dosis respirable durante la inhalación, es necesario

romper esta unión entre el fármaco y la lactosa. Este proceso de separación se logra al generar 'energía' dentro del dispositivo durante la inhalación, aprovechando la resistencia en el dispositivo, como se muestra en la figura 3. Este proceso de separación entre el fármaco y su portador se conoce como desaglomeración o desagregación³⁴.

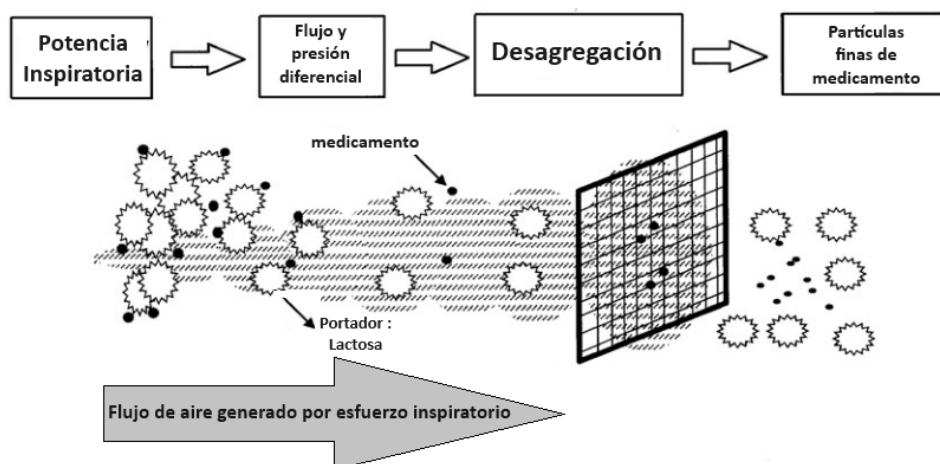
Resistencia de los DPI

La resistencia en los inhaladores de polvo seco, conocida como resistencia interna, implica la limitación en la velocidad del flujo de aire a través de estos dispositivos. Dado que los DPI se activan por medio de la inhalación, los pacientes deben inhalar con fuerza para vencer esta resistencia del dispositivo. Esto permite crear una presión diferencial interna necesaria para desaglomerar el polvo del medicamento de sus portadores, convirtiéndolo en partículas finas capaces de penetrar en las vías respiratorias periféricas³⁵. Es importante destacar que la resistencia varía entre los diferentes DPI, dependiendo de factores como los componentes de diseño del dispositivo (como cámaras de remolino, rejillas, entre otros) y la formulación específica del medicamento³⁶. La figura 4 ilustra cómo la resistencia en los DPI afecta la presión diferencial y el flujo de aire.

Potencia inspiratoria en los DPI

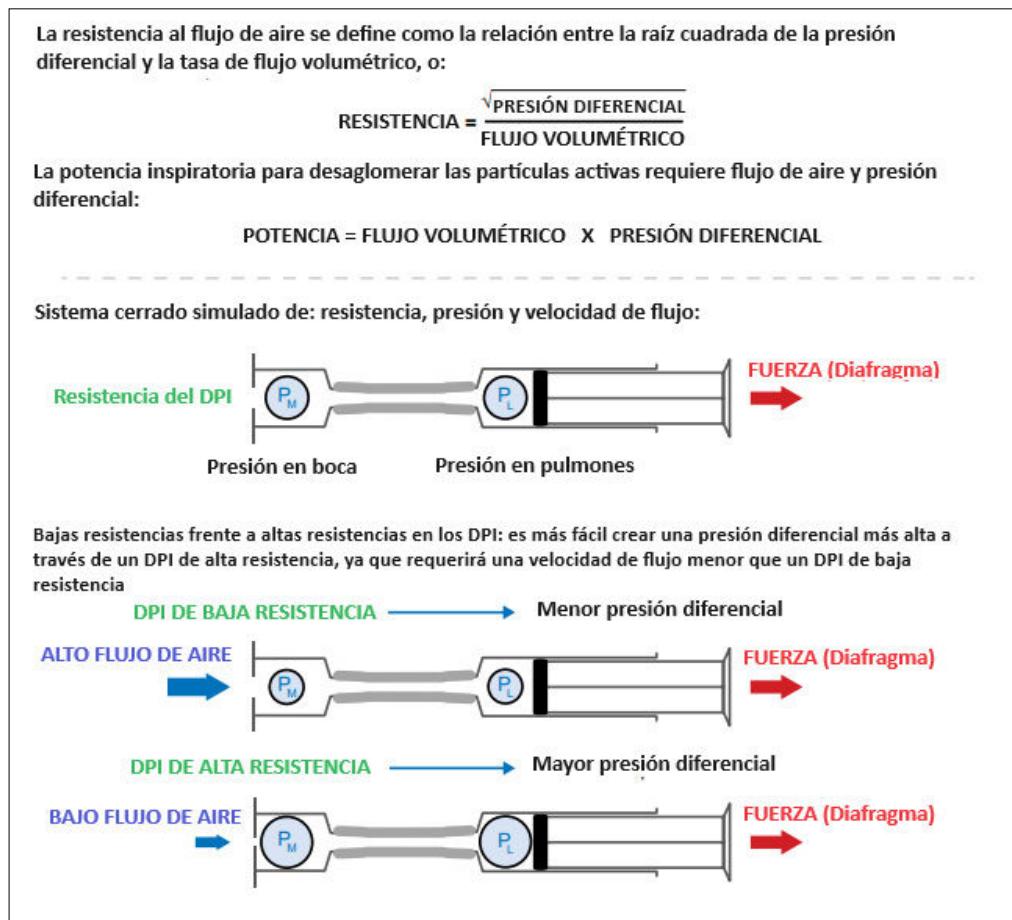
La potencia inspiratoria, que se refiere a la energía aprovechable para desaglomerar y aerosolizar el polvo del medicamento, se determina al multiplicar el flujo de aire por la presión diferencial, que es la diferencia entre la presión atmosférica y la presión bucal. De este modo, los pacientes pueden aumentar la potencia inspiratoria de desaglomeración al generar una presión diferencial a través del DPI (al inhalar en dispositivos de mayor resistencia) o al incrementar el flujo de aire inspirado³⁷.

Figura 3. Desagregación o desaglomeración



La potencia inspiratoria, fundamental para desaglomerar y aerosolizar el polvo del medicamento en inhaladores de polvo seco, se puede aumentar generando una mayor presión diferencial al inhalar en dispositivos de mayor resistencia o incrementando el flujo de aire inspirado. La resistencia interna (rejilla) limita la velocidad del flujo de aire, y los pacientes deben inhalar con fuerza para superarla, creando la presión necesaria para desaglomerar el polvo y convertirlo en partículas finas que lleguen a las vías respiratorias periféricas. Modificado de Chrystyn³⁴.

Figura 4. Impacto de la alta y baja resistencia en los inhaladores de polvo seco (DPI) sobre la presión diferencial



A menudo, el término "alta resistencia" puede resultar confuso. Contrariamente a la intuición, una resistencia alta no es necesariamente una desventaja para los pacientes. Los DPI con resistencia media o alta requieren menos esfuerzo inspiratorio para transportar las moléculas del medicamento a los pulmones³⁶. Dado que la presión necesaria para desaglomerar las moléculas activas en partículas finas está directamente asociada con la resistencia interna del dispositivo inhalador y la velocidad del flujo de aire inspiratorio, los dispositivos de baja resistencia, aunque pueden parecer más fáciles de inhalar, en realidad requieren una mayor velocidad de flujo de aire y esfuerzo inspiratorio, algo que puede resultar difícil para pacientes con afecciones pulmonares. Por el contrario, en dispositivos de alta resistencia, la velocidad del flujo de aire inspiratorio es menos relevante para la desaglomeración del medicamento que la presión diferencial (figura 5). Por lo tanto, los pacientes pueden generar una presión diferencial más alta con un menor flujo de aire inspiratorio y menos esfuerzo³⁸.

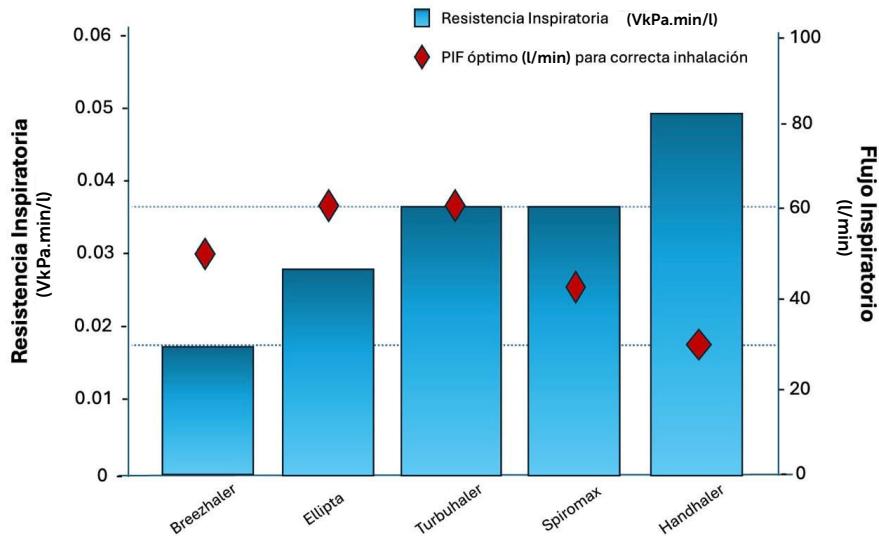
La velocidad del flujo inspiratorio del paciente afecta directamente la distribución del medicamento en distintas áreas respiratorias

como la orofaringe, las vías respiratorias superiores y los bronquios pulmonares. Al usar dispositivos de inhalación con alta resistencia, la velocidad del aire que transporta el medicamento se reduce debido a la restricción en la tasa máxima de flujo inspiratorio. Este flujo más lento disminuye la inercia de las partículas del medicamento, permitiendo una penetración más profunda en el pulmón y, por ende, una mayor efectividad terapéutica³⁵⁻³⁶.

Flujo inspiratorio

Se ha establecido que una tasa de flujo inspiratorio máximo (PIF) de 30 l/min es adecuada para una variedad de inhaladores de polvo seco con diferentes mecanismos de funcionamiento, como Easyhaler, Handihaler y Ellipta³⁹. La variabilidad en los esfuerzos inspiratorios de los pacientes ha sido evidente en diversos grupos etarios, desde pediátricos hasta geriátricos, y en diferentes condiciones, que van desde asma hasta EPOC⁴⁰⁻⁴². A pesar de estas disparidades, se considera que un PIF de 30 l/min se encuentra dentro de límites aceptables. Por ejemplo, al examinar el PIF en pacientes adultos y pediátricos con asma, así como en adultos con EPOC, en Easyhaler, un dispositivo con una resistencia relativamente alta en

Figura 5. Resistencia del inhalador de polvo seco y flujo inspiratorio óptimo para una entrega adecuada del fármaco



El gráfico ilustra cómo los dispositivos de baja resistencia requieren una mayor velocidad del flujo de aire inspiratorio. En contraste, los dispositivos de alta resistencia permiten una desaglomeración efectiva del medicamento con menor esfuerzo y un flujo de aire inspiratorio más bajo.

comparación con Turbuhaler de Symbicort, se observó que los percentiles 10, 50 y 90 para el PIF fueron de 44,7 l/min, 61,1 l/min y 74,8 l/min⁴³, respectivamente. De esta forma, las evidencias sugieren que la mayoría de los pacientes pueden alcanzar el flujo inspiratorio requerido para utilizar DPI de alta resistencia, sin importar su edad o la gravedad de su enfermedad^{41,44}.

Los esquemas presentados ilustran cada paso del proceso de inhalación para diferentes modelos de dispositivos de polvo seco (DPI): Turbuhaler (esquema A), Respimat (esquema B), Handihaler (esquema C), Ellipta (esquema D), Spiromax (Esquema E), Breezhaler (esquema F) Estos esquemas ofrecen una guía visual clara y precisa, con el objetivo de reforzar las instrucciones de uso específicas y minimizar los errores comunes, garantizando así la eficacia del tratamiento inhalado.

[VER INSTRUCTIVOS DPI \(Esquemas B-F\)](#)

Errores en el uso de inhaladores pMDI y DPI

Los inhaladores de dosis medida (pMDI) y de polvo seco (DPI) son los dispositivos más comúnmente utilizados para la administración de fármacos en el tratamiento del asma o la EPOC^{45,46}. Sin embargo, un gran número de pacientes que requiere este tipo de medicamentos no utiliza correctamente sus dispositivos inhaladores. Los errores pueden afectar la efectividad del fármaco administrado y, por lo tanto, llevar al control subóptimo de la enfermedad^{47,48}.

La literatura destaca que la confusión en las definiciones de errores críticos y no críticos radica en la variabilidad de criterios entre dife-

rentes estudios y dispositivos. Esta variabilidad dificulta establecer criterios uniformes para identificar los errores más comunes. En términos generales, un error crítico se refiere a una falla que puede comprometer significativamente la efectividad del fármaco administrado, contribuyendo al control subóptimo de la enfermedad. Por otro lado, un error no crítico puede referirse a un paso en la lista de verificación que, aunque importante para el funcionamiento del dispositivo, puede tener menos impacto si la enfermedad está bien controlada.

Se realizó una revisión sistemática⁴⁹ para estimar las tasas de error (la proporción de pacientes con al menos un error, crítico y/o no crítico) por tipo de dispositivo. Pese a las limitaciones de los datos, se observó que tanto las tasas de error en general, como las tasas de errores críticos informadas, son altas en todos los dispositivos, oscilando entre el 50% y el 100%, y entre el 14% y el 92%, respectivamente. Además, se señala que varios errores son comunes tanto en los dispositivos de inhalador de dosis medida (pMDI) como en los de polvo seco (DPI), donde los más frecuentes son: "no exhalar antes de la inhalación" y "no contener la respiración durante unos segundos después de la inhalación". Y en los pMDI con aerocámara, no "asegurar un sellado adecuado alrededor de la boquilla".

Por otra parte, Melani et al., estudiaron los errores asociados con el usuario cometidos por 1664 adultos con asma y EPOC que usaban inhaladores de dosis medida y dispositivos de polvo seco en casa. Los errores más comunes con los DPI fueron exhalar dentro del dispositivo antes de la activación y la falta de retener la respiración después de la inhalación⁵⁰. Sandler et al. mostraron que un tercio

de los adultos sin experiencia con inhaladores podían usar un inhalador correctamente sin entrenamiento (Spiromax, Easylhaler o Turbuhaler), pero después de recibir orientación cuidadosa por parte de un profesional de atención médica, el 95% puede dominar los aspectos técnicos necesarios para una inhalación exitosa⁵¹. Pese a esto, una revisión sistemática llevada a cabo por Lavorini et al.⁵² reveló que hasta un 25% de los pacientes no reciben instrucciones verbales sobre el uso adecuado de sus dispositivos de inhalación. Estudios que han comparado el uso de inhaladores pMDI y DPI, determinaron que la administración es significativamente mejor con usuarios de DPI (67,8%) que MDI (38,4%)⁵³.

Estos puntos son sumamente relevantes para garantizar la eficacia de los tratamientos. Es crucial seguir correctamente las instrucciones de uso de los dispositivos inhalados. La tabla 2 ofrece una visión general de las recomendaciones básicas para la preparación y administración de pMDI y DPI, además de destacar los errores más frecuentemente cometidos por los pacientes.

Tabla 2. Recomendaciones generales para el uso de pMDI y DPI

pMDI	DPI
Agitar el dispositivo antes de su activación	Preparar el dispositivo para la inhalación siguiendo las instrucciones específicas de cada modelo
Conectar inhalador a un espaciador/aerocámara	*Exhalar el aire fuera del dispositivo
*Exhalar el aire	*Colocar boquilla con los labios firmemente alrededor, asegurando un adecuado sellado
*Asegurar un sellado adecuado alrededor de la boquilla del espaciador/aerocámara	Inspirar rápida y profundamente a través de la boquilla
Inhalación lenta (a 30 l/min), profunda, que comience inmediatamente después de la activación del pMDI	*Contener respiración tanto como sea posible, idealmente 10 segundos
*Contener respiración tanto como sea posible, idealmente 10 segundos.	

*Errores más frecuentes.

Declaración de conflictos de intereses:

Los autores declaran no presentar ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Global strategy for prevention, diagnosis and management of COPD: 2023 Report. 2023. [Accessed 28 July 2023]. Available from: https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2023/03/GOLD-2023-ver-1.3-17Feb2023_WMV.pdf
2. Global Initiative for Asthma. Global strategy for asthma management and prevention. Global Initiative for Asthma; 2022 [Accessed 28 July 2023]. Available from: <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2023/05/GINA-Main-Report-2022-WMSA.pdf>
3. Chrystyn H, van der Palen J, Sharma R, Barnes N, Delafont B, Mahajan A, et al. Device errors in asthma and COPD: systematic literature review and meta-analysis. *NPJ Prim Care Respir Med*. 2017;27(1):22. doi: 10.1038/s41533-017-0016-z
4. Kocks JWH, Chrystyn H, van der Palen J, Thomas M, Yates L, Landis SH, et al. Systematic review of association between critical errors in inhalation and health outcomes in asthma and COPD. *NPJ Prim Care Respir Med*. 2018;28(1):43. doi: 10.1038/s41533-018-0110-x
5. Mash B, Bheekie A, Jones PW. Inhaled vs oral steroids for adults with chronic asthma. *Cochrane Database Syst Rev*. 2001;(1):CD002160. doi: 10.1002/14651858.CD002160
6. Webb J, Rees J, Clark TJ. A comparison of the effects of different methods of administration of beta-2-sympathomimetics in patients with asthma. *Br J Dis Chest*. 1982 Oct;76(4):351-7. doi: 10.1016/0007-0971(82)90069-9
7. Itoh H, Nishino M, Hatabu H. Architecture of the lung: morphology and function. *J Thorac Imaging*. 2004;19(4):221-227. doi: 10.1097/01.rti.0000142835.06988.b0
8. Weber B, Hochhaus G. A pharmacokinetic simulation tool for inhaled corticosteroids. *AAPS J*. 2013;15(1):159-171. doi: 10.1208/s12248-012-9420-z
9. Ibrahim M, Verma R, Garcia-Contreras L. Inhalation drug delivery devices: technology update. *Med Devices (Auckl)*. 2015;8:131-139. doi: 10.2147/MDER.S48888
10. Labiris NR, Dolovich MB. Pulmonary drug delivery. Part I: physiological factors affecting therapeutic effectiveness of aerosolized medications. *Br J Clin Pharmacol*. 2003;56(6):588-599. doi: 10.1046/j.1365-2125.2003.01892.x
11. Thorsson L, Geller D. Factors guiding the choice of delivery device for inhaled corticosteroids in the long-term management of stable asthma and COPD: focus on budesonide. *Respir Med*. 2005;99(7):836-849. doi: 10.1016/j.rmed.2005.02.012

12. Magramane S, Vlahović K, Gordon P, Kállai-Szabó N, Zelkó R, Antal I, et al. *Inhalation Dosage Forms: A Focus on Dry Powder Inhalers and Their Advancements*. *Pharmaceutics (Basel)*. 2023;16(12):1658. doi: 10.3390/ph16121658
13. Rangaraj N, Pailla SR, Sampathi S. *Insight into pulmonary drug delivery: Mechanism of drug deposition to device characterization and regulatory requirements*. *Pulm Pharmacol Ther*. 2019;54:1-21. doi: 10.1016/j.pupt.2018.11.004
14. Darquenne C. *Deposition Mechanisms*. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*. 2020;33(4):181-185. doi: 10.1089/jamp.2020.29029.cd
15. Darquenne C. *Aerosol deposition in health and disease*. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*. 2012;25(3):140-147. doi: 10.1089/jamp.2011.0916
16. Crompton GK. *Problems patients have using pressurized aerosol inhalers*. *Eur J Respir Dis Suppl*. 1982;119:101-1014.
17. Hendeles L, Colice GL, Meyer RJ. *Withdrawal of albuterol inhalers containing chlorofluorocarbon propellants*. *N Engl J Med*. 2007;356(13):1344-1351. doi: 10.1056/NEJMra050380
18. Lavorini F. *The challenge of delivering therapeutic aerosols to asthma patients*. *ISRN Allergy*. 2013;2013:102418. doi: 10.1155/2013/102418
19. Newman SP, Pavia D, Garland N, Clarke SW. *Effects of various inhalation modes on the deposition of radioactive pressurized aerosols*. *Eur J Respir Dis Suppl*. 1982;119:57-65.
20. Dolovich MB, Ahrens RC, Hess DR, Anderson P, Dhand R, Rau JL, et al.; American College of Chest Physicians; American College of Asthma, Allergy, and Immunology. *Device selection and outcomes of aerosol therapy: Evidence-based guidelines*: American College of Chest Physicians/American College of Asthma, Allergy, and Immunology. *Chest*. 2005;127(1):335-371. doi: 10.1378/chest.127.1.335
21. Sanchis J, Corrigan C, Levy ML, Viejo JL; ADMIT Group. *Inhaler devices - from theory to practice*. *Respir Med*. 2013;107(4):495-502. doi: 10.1016/j.rmed.2012.12.007
22. Dolovich MB, Dhand R. *Aerosol drug delivery: developments in device design and clinical use*. *Lancet*. 2011;377(9770):1032-1045. doi: 10.1016/S0140-6736(10)60926-9
23. *Inhaler Error Steering Committee*; Price D, Bosnic-Anticevich S, Briggs A, Chrystyn H, Rand C, Scheuch G, et al. *Inhaler competence in asthma: common errors, barriers to use and recommended solutions*. *Respir Med*. 2013;107(1):37-46. doi: 10.1016/j.rmed.2012.09.017
24. Fink JB, Rubin BK. *Problems with inhaler use: a call for improved clinician and patient education*. *Respir Care*. 2005;50(10):1360-1374; discussion 1374-1375.
25. Laube BL, Janssens HM, de Jongh FH, Devadason SG, Dhand R, Diot P, et al.; European Respiratory Society; International Society for Aerosols in Medicine. *What the pulmonary specialist should know about the new inhalation therapies*. *Eur Respir J*. 2011;37(6):1308-1331. doi: 10.1183/09031936.00166410
26. Franklin W, Lowell fc, Michelson al, Schiller iw. *Aerosolized steroids in bronchial asthma*. *J Allergy*. 1958;29(3):214-221. doi: 10.1016/0021-8707(58)90004-2
27. Stein SW, Thiel CG. *The History of Therapeutic Aerosols: A Chronological Review*. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*. 2017;30(1):20-41. doi: 10.1089/jamp.2016.1297
28. Newman SP, Woodman G, Clarke SW, Sackner MA. *Effect of InspireEase on the deposition of metered-dose aerosols in the human respiratory tract*. *Chest*. 1986;89(4):551-556. doi: 10.1378/chest.89.4.551
29. Vincken W, Levy ML, Scullion J, Usmani OS, Dekhuijzen PNR, Corrigan CJ. *Spacer devices for inhaled therapy: why use them, and how?* *ERJ Open Res*. 2018;4(2):00065-2018. doi: 10.1183/23120541.00065-2018
30. Fink JB. *Aerosol device selection: evidence to practice*. *Respir Care*. 2000;45(7):874-885
31. Williams RO 3rd, Patel AM, Barron MK, Rogers TL. *Investigation of some commercially available spacer devices for the delivery of glucocorticoid steroids from a pMDI*. *Drug Dev Ind Pharm*. 2001;27(5):401-412. doi: 10.1081/ddc-100104315
32. Chrystyn H. *Anatomy and physiology in delivery: can we define our targets?* *Allergy*. 1999;54 Suppl 49:82-87. doi: 10.1111/j.1398-9959.1999.tb04393.x
33. Chrystyn H. *Is total particle dose more important than particle distribution?* *Respir Med*. 1997;91 Suppl A:17-19. doi: 10.1016/s0954-6111(97)90100-1
34. Chrystyn H. *Is inhalation rate important for a dry powder inhaler? Using the In-Check Dial to identify these rates*. *Respir Med*. 2003;97(2):181-187. doi: 10.1053/rmed.2003.1351
35. Dal Negro RW. *Dry powder inhalers and the right things to remember: a concept review*. *Multidiscip Respir Med*. 2015;10(1):13. doi: 10.1186/s40248-015-0012-5
36. Levy ML, Carroll W, Izquierdo Alonso JL, Keller C, Lavorini F, Lehtimäki L. *Understanding Dry Powder Inhalers: Key Technical and Patient Preference Attributes*. *Adv Ther*. 2019;36(10):2547-2557. doi: 10.1007/s12325-019-01066-6
37. Capstick TGD, Gudimetla S, Harris DS, Malone R, Usmani OS. *Demystifying Dry Powder Inhaler Resistance with Relevance to Optimal Patient Care*. *Clin Drug Investig*. 2024;44(2):109-114. doi: 10.1007/s40261-023-01330-2
38. Ivey JW, Vehring R, Finlay WH. *Understanding pressurized metered dose inhaler performance*. *Expert Opin Drug Deliv*. 2015;12(6):901-916. doi: 10.1517/17425247.2015.984683
39. Haidl P, Heindl S, Siemon K, Bernacka M, Cloes RM. *Inhalation device requirements for patients' inhalation maneuvers*. *Respir Med*. 2016;118:65-75. doi: 10.1016/j.rmed.2016.07.013
40. Ghosh S, Ohar JA, Drummond MB. *Peak Inspiratory Flow Rate in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Implications for Dry Powder Inhalers*. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*. 2017;30(6):381-387. doi: 10.1089/jamp.2017.1416
41. Azouz W, Chetcuti P, Hosker HS, Saralaya D, Stephenson J, Chrystyn H. *The inhalation characteristics of patients when they use different dry powder inhalers*. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*. 2015;28(1):35-42. doi: 10.1089/jamp.2013.1119
42. Malmberg LP, Ryttilä P, Happonen P, Haahtela T. *Inspiratory flows through dry powder inhaler in chronic obstructive pulmonary disease: age and gender rather than severity matters*. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2010;5:257-262. doi: 10.2147/copd.s11474
43. Malmberg LP, Everard ML, Haikarainen J, Lähelä S. *Evaluation of in vitro and in vivo flow rate dependency of budesonide/formoterol Easihaler®*. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*. 2014;27(5):329-340. doi: 10.1089/jamp.2013.1099
44. Harris DS, Scott N, Willoughby A. *How does Airflow Resistance Affect Inspiratory Characteristics as a Child grows into an Adult?* *Drug Deliv Lungs (DDL) Conference Proceedings*, 2010, pp 79-87.
45. Al-Jahdali H, Ahmed A, Al-Harbi A, Khan M, Baharoon S, Bin Salih S, et al. *Improper inhaler technique is associated with poor asthma control and frequent emergency department visits*. *Allergy Asthma Clin Immunol*. 2013;9(1):8. doi: 10.1186/1710-1492-9-8
46. Hesselink AE, Penninx BW, Wijnhoven HA, Kriegsman DM, van Eijk JT. *Determinants of an incorrect inhalation technique in patients with asthma or COPD*. *Scand J Prim Health Care*. 2001;19(4):255-260. doi: 10.1080/02813430152706792
47. Giraud V, Roche N. *Misuse of corticosteroid metered-dose inhaler is associated with decreased asthma stability*. *Eur Respir J*. 2002;19(2):246-251. doi: 10.1183/09031936.02.00218402
48. Lindgren S, Bake B, Larsson S. *Clinical consequences of inadequate inhalation technique in asthma therapy*. *Eur J Respir Dis*. 1987;70(2):93-98.

49. Chrystyn H, van der Palen J, Sharma R, Barnes N, Delafont B, Mahajan A, et al. Device errors in asthma and COPD: systematic literature review and meta-analysis. *NPJ Prim Care Respir Med.* 2017;27(1):22. doi: 10.1038/s41533-017-0016-z
50. Melani AS, Bonavia M, Cilenti V, Cinti C, Lodi M, Martucci P, et al.; Gruppo Educazionale Associazione Italiana Pneumologi Ospedalieri. Inhaler mishandling remains common in real life and is associated with reduced disease control. *Respir Med.* 2011;105(6):930-938. doi: 10.1016/j.rmed.2011.01.005
51. Sandler N, Holländer J, Långström D, Santtila P, Saukkonen A, Torvinen S. Evaluation of inhaler handling-errors, inhaler perception and preference with Spiromax, Easyhaler and Turbuhaler devices among healthy Finnish volunteers: a single site, single visit crossover study (Finhaler). *BMJ Open Respir Res.* 2016;3(1):e000119. doi: 10.1136/bmjresp-2015-000119
52. Lavorini F, Magnan A, Dubus JC, Voshaar T, Corbetta L, Broeders M, et al. Effect of incorrect use of dry powder inhalers on management of patients with asthma and COPD. *Respir Med.* 2008;102(4):593-604. doi: 10.1016/j.rmed.2007.11.003
53. Ramadan WH, Sarkis AT. Patterns of use of dry powder inhalers versus pressurized metered-dose inhalers devices in adult patients with chronic obstructive pulmonary disease or asthma: An observational comparative study. *Chron Respir Dis.* 2017;14(3):309-320. doi: 10.1177/1479972316687209