

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO**

CARLA LIMA FEITOZA CAVASSINI

**ANÁLISE DO PADRÃO RESPIRATÓRIO E DO PADRÃO DE MOVIMENTO
TORACOABDOMINAL EM REPOUSO E APÓS ESFORÇOS SUBMÁXIMOS EM
CRIANÇAS E ADOLESCENTES ASMÁTICAS**

São Paulo, 2020

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO**

**ANÁLISE DO PADRÃO RESPIRATÓRIO E DO PADRÃO DE MOVIMENTO
TORACOABDOMINAL EM REPOUSO E APÓS ESFORÇOS SUBMÁXIMOS EM
CRIANÇAS E ADOLESCENTES ASMÁTICAS**

***ANALYSIS OF THE RESPIRATORY PATTERN AND THORACOABDOMINAL
MOTION PATTERN AT REST AND AFTER SUB-MAXIMUM EFFORTS IN
ASTHMATIC CHILDREN AND ADOLESCENTS***

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Nove de Julho -UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Ciências da Reabilitação

Co-Orientadora: **Profa. Dra. Évelim L. F. D. Gomes**

Curso: **Doutorado em Ciências da Reabilitação**

Orientador: **Prof. Dr. Dirceu Costa**

São Paulo, 2020

Cavassini, Carla Lima Feitoza.

Análise do padrão respiratório e do padrão de movimento toracoabdominal em repouso e após esforços submáximos em crianças e adolescentes asmáticas. / Carla Lima Feitoza Cavassini. 2020.

45 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2020.

Orientador (a): Prof. Dr. Dirceu Costa.

1. Asma. 2. Padrão respiratório. 3. Movimento respiratório. 4. Esforço físico.

I. Costa, Dirceu. II. Título.

CDU 615.8

Carla Lima Feitoza Cavassini

“Análise do padrão respiratório e do padrão de movimento toracoabdominal em repouso e após esforços submáximos em crianças e adolescentes asmáticas.”

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Ciências da Reabilitação

Orientador: Prof. Dr. Dirceu Costa

Co-Orientadora: Profa. Dra. Évelim Leal de F. Dantas Gomes

Curso: Doutorado em Ciências da Reabilitação

Núcleo de Pesquisa: Disfunção e Reabilitação do Sistema Cardiorrespiratório

São Paulo, 9 de dezembro de 2020.

São Paulo, 09 de dezembro de 2020.

TERMO DE APROVAÇÃO

Aluno (a): CARLA LIMA FEITOZA

Título da Tese: "Análise do Padrão Respiratório e do Padrão de Movimento Toracoabdominal em Repouso e Após Esforços Submáximos em Crianças Asmáticas"

Presidente: PROF. DR. DIRCEU COSTA



Membro: PROFA. DRA. LUCIANA MARIA MALOSÁ SAMPAIO JORGE



Membro: PROFA. DRA. RENATA PEDROLONGO BASSO VANELLI



DEDICATÓRIA

Dedico está TESE á todos os meus entes queridos, amigos, orientador, co-orientadora, alunos e pacientes. Foram 3 anos de muito esforço, dedicação e aprendizado. Agradeço a Deus por tê-los comigo e por me ajudarem na realização de mais esse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me presenteado com o Dom da vida, por me dar saúde, força e por estar ao meu lado a cada passo que dou em busca de um futuro melhor.

Agradeço ao meu orientador Professor **Dr. Dirceu Costa**, por ter me orientado, e mais uma vez confiado em mim ao longo desses três, dado a oportunidade de realizar mais uma conquista.

A minha Co-orientadora e amiga Dra. Évelim Leal de F. Dantas Gomes, que foi um anjo que Deus colocou em meu caminho, me guiado com carinho e dedicação sem nunca esperar nada em troca e por compartilhar todo seu conhecimento e amizade mais que especial.

Agradeço aos meus alunos (as) de Iniciação Científica, pela dedicação e companheirismo, pela família que criamos ao longo do tempo "**Família Asma**". Vocês fizeram toda a diferença, não só no meu trabalho, mas na minha vida.

As minhas grandes amigas e companheiras, mais que especial, que estiveram ao meu lado em mais uma jornada, alegrando meus dias, me dando apoio, me consolando nos momentos de cansaço e aflição, **Maisi Muniz Cabral David, Josiane Germano, Manoela Cavalcante, Aldenice Magalhães, Juliana Barbosa, Camila Máximo e Rodrigo**.

Aos **meus pais Aroudo e Arleide**, que me ensinaram tudo que sei, e em especial para meu marido **Gener (Mozão)**, que sempre me incentivou na busca dos meus sonhos e objetivos.

A minhas colegas de laboratório, que me apoiaram e me ajudaram, **Carolina, Adriana e Daneila**. Meu prof^o de canto **Gabriel**, pelo ombro amigo e aulas maravilhosas que muitas vezes me trouxeram conforto e paz.

A todos os colegas de trabalho, meninas da limpeza, seguranças, pessoal da infraestrutura, as meninas da clínica de fisioterapia, professores e coordenadores da UNINOVE...

E em especial a todos os meus pacientes, os acompanhantes dos pacientes, por terem cedido um pouco do seu tempo e que de uma forma toda especial fizeram parte principal dessa minha trajetória...

A minha banca, Luciana Malosa e Renata Basso Vanelli, por terem cedido seu tempo e seus conhecimentos.

Meu carinho todo especial e meu muito obrigada a todos!!!

“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.”

Eleanor Roosevelt

LISTA DE ABREVIATURAS

Siglas e Símbolos

ATS - American Thoracic Society
ABD - Abdomem
ACQ6 - Asthma Control Questionnaire
BIE - Broncoespasmo induzido pelo exercício
bpm - Batimentos por minuto
CEP- Comitê de Ética e Pesquisa
CmH₂O - centímetros de água
CI - Capacidade Inspiratória
CPT - Capacidade Pulmonar Total
CVF - Capacidade Vital Forçada
CRF - Capacidade Residual Funcional
CTP - Caixa Torácica Pulmonar
CTA - Caixa torácica abdominal
DPOC - Doença pulmonar obstrutiva crônica
FR - Frequência Respiratória
FC - Frequência Cardíaca
GC - Grupo controle
GA - Grupo asmáticos
GINA - Global Initiative for Asthma
mmHg - Milímetros de Mercúrio
MMSS - Membros Superiores
PA - Pressão Arterial
OEP - Pletismografia Optoeletrônica
SIH - Sistema de Informações Hospitalares
SpO₂ - Saturação Periférica de oxigênio
Ti - Tempo Inspiratório
Te - Tempo Expiratório
Ttot - Tempo total da Respiração
TCLE - Termo de Consentimento e Livre Esclarecido
TD3 - Teste do degrau de 3 minutos
VEF₁ - Volume Expiratório forçado no Primeiro Segundo
VC - Volume Corrente
VC% - Porcentagem do Volume Corrente

VM - Volume Minuto

VAb - Volume de abdômen

VRcp - Volume da caixa torácica

Vdi - Velocidade do diafragma

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Estudo

Figura 1- A- Câmeras do equipamento OEP SYSTEM da BTS (Fonte: site do fabricante); B- Incidência de feixes infravermelho sobre o corpo do paciente.....	25
Figura 2- Calibração prévia do aparelho, conforme coordenadas tridimensionais	26
Figura 3- Ilustração dos marcadores para coleta nas vistas A anterior e B posterior e C lateral	26
Figura 4- Posição da coleta	27
Figura 5- Parâmetros fornecidos pela Pletismografia Optoeletronica	28
Figura 6- Representação dos compartimentos da parede torácica e Ciclos respiratórios captados pela OEP, pelo software <i>Smart Tracker</i>	29
Figura 7- Atividade no degrau	30

LISTA DE TABELAS

Estudo

Tabela 1 - Características Gerais da Amostra	33
Tabela 2 - Características do exercício	34
Tabela 3 - Dados padrão respiratório e de movimento toracoabdominal pela OEP	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Participação do Torác no Volume Corrente no repouso	37
Gráfico 2 - Participação do Abdomen no Volume Corrente após exercício	37

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE TABELAS	4
LISTA DE GRÁFICOS	11
SUMÁRIO	11
RESUMO	13
ABSTRACT	14

	13
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Sistema Respiratório.....	16
1.2 Asma.....	17
1.3 Análise dos Movimentos Toracoabdominais.....	19
2. HIPÓTESE	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo Geral	22
3.2 Objetivos específicos	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Tipo de estudo	23
4.2 Aspectos éticos	23
4.3 Local do estudo e amostra	23
4.4 Critérios de inclusão	23
4.5 Critérios de exclusão	24
5. FLUXOGRAMA	24
6. AVALIAÇÕES E TESTES	25
6.1 Dados Antropométricos	25
6.2 Avaliação do movimento toracoabdominal pela OEP.....	25
6.3 Atividade no degrau (TD3).....	30
6.4 Prova de função pulmonar.....	31
6.5 Pico de fluxo Expiratório.....	32
6.6 Questionário de Controle da Asma (ACQ6).....	32
7. CÁLCULO AMOSTRAL E TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	32
8. RESULTADOS.....	34
9. DISCUSSÃO.....	39
9.1- Limitações do Estudo	41
9.2- Considerações Finais	41
10. CONCLUSÃO.....	41
11. REFERÊNCIAS.....	42

RESUMO

Introdução: A asma cursa com aumento da resistência das vias aéreas, mesmo no período de intercrise, o que gera alterações na cinemática toracoabdominal e adaptações emergenciais da dinâmica respiratória que podem ser observadas na respiração corrente, intensificadas ao esforço físico. O objetivo deste estudo foi detectar essas adaptações em repouso e após esforço físico. **Método:** Estudo transversal que avaliou crianças e adolescentes asmáticos e saudáveis, por meio da pletismografia optoeletrônica, as quais foram submetidas a um esforço físico de intensidade moderada. As avaliações foram feitas em respiração espontânea e imediatamente após o esforço físico. **Resultados:** Foram avaliados 32 crianças e adolescentes 16 em cada grupo, com média de idade de $8,9 \pm 2,4$ anos no grupo de asmáticos (GA) e $10 \pm 3,9$ no grupo de saudáveis, ou controle (GC). Apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) no VEF_1 (%) = $84,8 \pm 10,2$ no GA e $104,4 \pm 20,1$ no GC; pré e pós esforço físico o GA apresentou menor variação do volume minuto quando comparado ao GC ($3,4 \times 4,9$ litros; menor variação do volume corrente (66×153 ml) e menor variação da frequência respiratória (2×6). O comportamento cinemático entre os grupos, mostrou-se inverso pois, enquanto no GA a contribuição do compartimento torácico, em repouso, foi maior, e depois reduziu com o esforço físico, no GC a contribuição do compartimento abdominal foi maior no repouso e reduziu ao esforço. O tempo expiratório no GA foi maior do que no GC nos dois momentos avaliados. **Conclusão:** O comportamento cinemático ao repouso e após o esforço físico submáximo de crianças e adolescentes asmáticos mostrou comportamento inverso aos saudáveis mostrando as possíveis adaptações mecânicas e fisiológicas, com vistas a minimizar possível turbilhonar do fluxo aéreo, reduzindo o impacto na resistência das vias aéreas quando realizam uma atividade ou esforço físico e estas alterações estão presentes mesmo em repouso e em pacientes clinicamente controlados.

Palavras Chave: Asma; padrão respiratório; movimento respiratório, esforço físico.

ABSTRACT

Introduction: Asthma involves an increase in airway resistance even in periods between attacks, which generates changes in thoracoabdominal kinematics as well as adaptations of the respiratory dynamics that are intensified during physical exertion. The aim of the present study was to detect these adaptations at rest and after physical effort. **Methods:** A cross-sectional study was conducted. Evaluations were performed using optoelectronic plethysmography at rest and immediately after physical effort of moderate intensity. **Results:** Thirty-two children and adolescents participated in the present study. Mean age was 8.9 ± 2.4 years in the asthmatic group (AG) and 10 ± 3.9 in the healthy control group (CG). Significant intergroup differences ($p < 0.05$) were found regarding FEV₁ (%) (84.8 ± 10.2 in the AG and 104.4 ± 20.1 in the CG). After exercise, the AG exhibited a smaller change in minute volume (3.4 vs. 4.9 liters) as well as a smaller change in tidal volume (66 vs. 153 ml), and a smaller change in respiratory rate (2 vs. 6). Opposite kinematic behavior was found; the contribution of the thoracic compartment was greater at rest and was reduced after effort in the AG, whereas the contribution of the abdominal compartment was greater at rest and was reduced after effort in the CG. Expiratory time was greater in the AG than the CG at both evaluation times. **Conclusion:** The kinematic behavior of thoracoabdominal motion was the inverse of that found in healthy controls. These findings suggest mechanical and physiological adaptations to minimize the possible swirling of the airflow and reduce the impact of airway resistance during physical exertion. Moreover, these changes are found even at rest and in patients whose asthma is clinically controlled.

Keywords: Asthma; respiratory pattern; respiratory motion pattern; physical effort

1- INTRODUÇÃO

1.1 Sistema Respiratório

O sistema respiratório é constituído pelos pulmões, cuja função é garantir as trocas gasosas e pela parede torácica, que se movimenta devido a uma ação contínua de músculos¹. Esses músculos movem as partes da parede torácica que formam os limites da cavidade torácica, aumentando ou contraindo seu volume e, portanto, deslocando o ar para dentro e para fora dos pulmões². A parede torácica é definida por todas as estruturas anatômicas que circundam o pulmão e se movem com ele: a caixa torácica, o diafragma, o conteúdo abdominal e a parede abdominal^{3,4}. Os deslocamentos do pulmão são transmitidos para a parede torácica e vice-versa e, portanto, as medidas do movimento da superfície toracoabdominal podem ser utilizadas para estimar as variações do volume pulmonar^{5,6,7}.

Então o movimento toracoabdominal normal é constituído pela expansão e retração desses compartimentos durante a inspiração e a expiração^{8,9}. As forças resultantes que atuam nas partes pulmonar e abdominal da caixa torácica são provavelmente diferentes, produzindo uma distorção da caixa torácica em relação à sua configuração de relaxamento. Na medida em que a caixa torácica resiste à flexão, haverá uma interação entre os dois compartimentos da caixa torácica tendendo a minimizar as distorções. Embora quase certamente ambos os compartimentos da caixa torácica se expandam, os deslocamentos e distorções entre os dois compartimentos da caixa torácica ainda não foram estudados em detalhes². Portanto, o movimento da parede torácica durante a respiração é um fenômeno integrado que envolve vários músculos, sua integralidade promove o adequado acoplamento toracoabdominal trazendo eficiência a respiração. Sob condições normais, o volume corrente e os tempos da inspiração e expiração quase não variam de uma respiração para outra. Esse monótono modelo respiratório caracteriza o padrão respiratório¹⁰.

O padrão respiratório é a maneira como a respiração acontece na maior parte do tempo e envolve mecanismos neuromusculares. O padrão respiratório e o movimento toracoabdominal podem ser influenciados por vários fatores. Os mesmos sofrem alterações em situações emocionais (medo, ansiedade), fisiopatológicas e de aumento de demanda (exercícios físicos)¹¹. Essas mudanças ocorrem na

tentativa de atender as necessidades do organismo levando o indivíduo a adotar o melhor padrão ou o mais adequado às suas demandas sejam elas agudas ou crônicas¹². Nos indivíduos portadores de doenças respiratórias, o padrão respiratório, a configuração e a coordenação toracoabdominal podem se alterar de forma patológica, trazendo ineficiência à respiração¹³.

A dinâmica respiratória é complexa e envolve além deste controle neural a movimentação dos compartimentos torácico e abdominal. O padrão de movimento destes compartimentos está associado com a eficiência da respiração que deve ocorrer para atender as demandas com menor gasto energético possível em situações em que haja aumento do componente resistivo como na asma, tanto o padrão de controle neural como de movimento podem estar alterados em relação ao padrão ausente de comprometimento mecânico como em indivíduos saudáveis^{4,8}.

1.2 Asma

A asma é uma doença heterogênea, caracterizada por inflamação crônica das vias aéreas, geralmente associada a hiperresponsividade à estímulos diretos ou indiretos. Cursa com variações frequentemente desencadeadas por fatores como exercício físico, exposição a alérgeno, mudanças no clima ou infecções virais e com períodos de agudização¹⁴. É conhecida por ser uma doença respiratória, comumente ocorrida na infância, caracterizada por um processo inflamatório crônico e persistente das vias aéreas se manifestando clinicamente com episódios de tosse, falta de ar chiado no peito, sinais esses que são manifestações clínicas que ocorrem principalmente de manhã e a noite e estão associados a obstrução a passagem do ar parcialmente reversível¹⁵. Pacientes com asma estão sujeitos a episódios de broncoconstrição em resposta exageradas a estímulos exógenos e endógenos como ar frio, alérgenos orgânicos e inorgânicos, poeira, exercícios físicos, todos esses fatores podem contribuir para uma redução da qualidade de vida^{16,17}.

Estima-se que 300 milhões de pessoas sofram de asma, estudos mostram que 25% das crianças e adolescentes de grandes centros urbanos apresentam sintomas dessa doença, sendo uma das principais causas de internações na infância, ausências na escola e inatividade física^{18,14}. É uma doença que nos últimos 20 anos dobrou sua incidência mundialmente, devido em parte seu melhor reconhecimento na comunidade médica e pelo aumento real de casos. Esse aumento motivou um

estudo realizado internacionalmente chamado International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC), onde foi aplicado um questionário simples e validado com perguntas auto aplicáveis, o objetivo deste estudo foi avaliar crianças de 42 países na faixa etária de 6-7anos e adolescentes de 56 países entre 13-14 anos, permitindo diferenciar três grupos de países de acordo com a taxa de prevalência da asma: asma fraca (inferior a 5%), asma média (5 a 6 %) e asma forte (superior a 10%). O Brasil foi considerado como forte na classificação ocupando o 8º lugar tendo uma prevalência de 20 %¹⁹.

Apesar da redução no número de internações nos últimos 10 anos, a Asma ainda é a quinta causa mais frequente de internação, em torno de duzentas mil ao ano. Somente entre 2012 à 2014 gerou gastos de 100 milhões de reais por ano na saúde pública, com duas mil e quinhentas mortes por ano de 2008 a 2012, e com taxas crescentes na região norte^{20,21}. Responsável por um número expressivo de internações hospitalares no Brasil, somente em 2014, período de janeiro a novembro, foram 105,5 mil internações pela doença originando um custo de R\$ 57,2 milhões para a rede pública de saúde, segundo dados do Sistema de Informações Hospitalares (SIH) Ministério da Saúde¹⁵. Segundo o Fórum das Sociedades Respiratórias Internacionais, uma das ações essenciais para reduzir a carga de doenças respiratórias é aumentar as pesquisas para desenvolver programas, ferramentas e estratégias para melhor prevenir e tratar doenças respiratórias²².

Em virtude do agravamento dos sintomas da asma durante a atividade física ou o medo de desencadear a crise, os pacientes asmáticos apresentam menor tolerância ao exercício físico, com consequente inatividade e redução da aptidão cardiorrespiratória^{23,24}. O declínio do desempenho físico destas crianças também pode relacionar-se ao mal estado nutricional e à miopatia por uso de corticoides. Além das restrições físicas, podem ainda ser citadas as restrições emocionais e sociais, sendo estas proporcionalmente maiores a medida que a sintomatologia não é controlada adequadamente²³. Contudo, evidências sugerem que o exercício físico melhora os fatores psicossociais²⁵, reduz broncoespasmo induzido pelo exercício (BIE)²⁶, a inflamação das vias aéreas^{27,28}, o que pode contribuir positivamente para controle clínico da doença.

Mesmo em períodos fora das agudizações esses pacientes apresentam certo grau de componente resistivo relacionado a gravidade da doença. Essas alterações

dinâmicas da respiração estão presentes e são estudadas há algumas décadas seja durante a crise¹¹ ou em situações como atividade física em diferentes intensidades de esforço²⁹. Estudos em crianças asmáticas avaliaram o padrão respiratório, porém faltam informações na literatura que agrupam o padrão de movimento toracoabdominal em diferentes níveis de intensidade de esforço físico especialmente em níveis submáximos, no qual são realizadas a maioria das atividades diárias³⁰.

1.3 - Análises dos Movimentos Toracoabdominais

O músculo quando ativado desenvolve força e / ou encurta com uma certa velocidade. Para um determinado grau de ativação, a quantidade de impulso convertido em força e aquele convertido em velocidade são funções únicas da carga contra a qual o músculo está agindo e de sua própria relação intrínseca força-velocidade. Contra uma carga resistiva, a velocidade de encurtamento diminui à medida que a resistência aumenta, mas a força aumenta ao longo da relação força-velocidade hiperbólica. Durante o exercício normal, o diafragma apresenta-se relaxado, ou seja, em posição descendente, devido ao relaxamento dos músculos abdominais ao longo da inspiração³¹. Isso aumenta sua velocidade de encurtamento para que atue como um gerador de fluxo.

A pressão transdiafragmática não aumenta muito, mas a força diafragmática aumenta com o exercício em paralelo com o aumento da força de outros músculos respiratórios, que desenvolvem as pressões necessárias para deslocar o abdômen e a caixa torácica e inflar os pulmões.

Nas últimas décadas, uma série de dispositivos e métodos têm sido desenvolvidos a fim de permitir a mensuração do movimento abdominal e da caixa torácica e, paralelamente, várias tentativas têm sido feitas para definir métodos de calibração capazes de estimar as mudanças de volume dos compartimentos individuais de toda a parede torácica e do pulmão a partir de medidas de diâmetros, circunferências ou áreas transversais, como o método do isovolume, mudança de postura, respiração natural^{5,6}.

A análise dos movimentos toracoabdominais informa a função integrada dos músculos respiratórios⁸ e a avaliação clínica do padrão respiratório e de movimento

toracoabdominal durante exercício submáximo e pode ser valioso para a identificação da mecânica respiratória. Em pacientes com diferentes doenças pulmonares, ajustes do padrão respiratório são necessários para lidar com as demandas ventilatórias durante o exercício³². Em indivíduos asmáticos, mesmo em condições estáveis, as respostas ao exercício podem variar³³ devido a um padrão respiratório alterado (ou seja, aumento da frequência respiratória, volume expiratório final e respiração rápida e superficial)³⁴ alterações no calibre das vias aéreas, o que pode contribuir para dispneia e limitação de exercício³⁵.

Os compartimentos da caixa torácica são divididos em: Caixa Torácica Pulmonar (CTP), Caixa torácica abdominal (CTA) e Abdômen (ABD). Enquanto em indivíduos saudáveis os três compartimentos geralmente se movem sincronizadamente, em diferentes doenças, podem ser encontrados diferentes movimentos assíncronos entre os três compartimentos da parede torácica, tipicamente como movimento interior paradoxal na caixa torácica pulmonar (por exemplo, devido a deformidades da caixa torácica), na caixa torácica abdominal (por exemplo, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), devido à hiperinflação pulmonar e ao consequente diafragma achatado), ou o abdômen (por exemplo, devido à paralisia do diafragma)^{13,36,37}.

Dados da caixa torácica e seus compartimentos e do padrão respiratório são fontes de informações importantes na avaliação de disfunções respiratórias, seja aguda ou crônicas, como a de crianças com asma e posteriormente pode servir como parâmetro para avaliar a eficácia de intervenções e permitir a aplicação adequada destas intervenções durante a assistência e a reabilitação pulmonar, aplicadas a esta população^{4,12,38}.

A avaliação da cinemática toracoabdominal deve permitir a atividade espontânea da respiração da forma menos invasiva e ao mesmo tempo, garantindo alta acurácia³⁹. Atualmente, a principal ferramenta de estudo utilizada para avaliação do volume e da cinemática toracoabdominal é a Pletismografia Optoeletrônica (*Optoelectronic Plethysmography - OEP*)⁴⁰.

A OEP (*BTS Bioengineering*, Milão, Itália) é um instrumento que usa o modelo tricompartimental, capaz de medir respiração a respiração, mudanças do volume total da parede torácica e de seus diferentes compartimentos (caixa torácica pulmonar, caixa torácica abdominal e abdome), a partir de medidas ópticas de um número finito de deslocamentos de pontos posicionados na superfície externa da

parede torácica^{41,42}. É uma técnica moderna, não invasiva, permite a liberdade de movimento⁴³, pode ser feita em diferentes posturas e a fase de calibração do equipamento é simples. Por essa razão diversos estudos tem empregado essa ferramenta para avaliação e compreensão do padrão respiratório e da cinemática, ou seja, comportamento toracoabdominal⁴³. Apresenta confiabilidade para a avaliação dos volumes da parede torácica e das variáveis de tempo em sujeitos saudáveis, no repouso e durante exercício submáximo. É uma fonte de informação importante na avaliação de disfunções respiratórias, seja aguda ou crônicas e permite avaliar a eficácia de intervenções para aplicação adequada durante a assistência e a reabilitação pulmonar³⁸, justificando assim a necessidade deste estudo.

2- HIPÓTESE

Haverá alterações relacionadas ao comportamento do padrão respiratório e do movimento toracoabdominal.

Haverá alterações frente ao esforço físico em crianças e adolescentes asmáticos.

Não haverá alterações relacionadas ao comportamento do padrão respiratório e do movimento toracoabdominal.

Não haverá alterações frente ao esforço físico em crianças e adolescentes asmáticos.

3- OBJETIVOS

3.1- Objetivo geral

Avaliar o comportamento do padrão respiratório e do padrão de movimento toracoabdominal em crianças e adolescentes asmáticos e saudáveis em repouso e após um exercício submáximo.

3.2- Objetivos específicos

Avaliar as alterações relacionadas ao comportamento do padrão respiratório e do movimento toracoabdominal.

Avaliar as alterações frente ao esforço submáximo em crianças e adolescentes asmáticos e saudáveis.

4- MATERIAIS E MÉTODOS

4.1- Tipo de estudo

Trata-se de um estudo transversal no qual foi avaliado o padrão de movimento toracoabdominal pré e pós esforço físico submáximo de crianças e adolescentes asmáticos (classificados de acordo com o GINA 2019) e saudáveis. O período das coletas foi de Janeiro a Dezembro de 2019.

4.2- Aspectos éticos

Este estudo foi desenvolvido respeitando-se as normas de pesquisa envolvendo seres humanos (Resolução CNS 466/2012) do Conselho Nacional de Saúde, e teve seu início após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Nove de Julho (parecer 3.522.595/2019).

4.3- Local do estudo

O estudo foi desenvolvido no Laboratório Multidisciplinar de Movimento, módulo de Pletismografia Optoeletrônica (OEP), localizado no Campus Memorial da América Latina da Universidade Nove de Julho (UNINOVE), na Av. Francisco Matarazzo, 376, Barra Funda, São Paulo- SP.

Os pacientes foram triados da lista de espera da clínica de fisioterapia da UNINOVE, unidade Memorial e a partir de busca ativa na comunidade (com e/ou sem Asma). Todos foram orientados a comparecer para uma avaliação no Laboratório Multidisciplinar de Movimento.

4.4- Critérios de inclusão

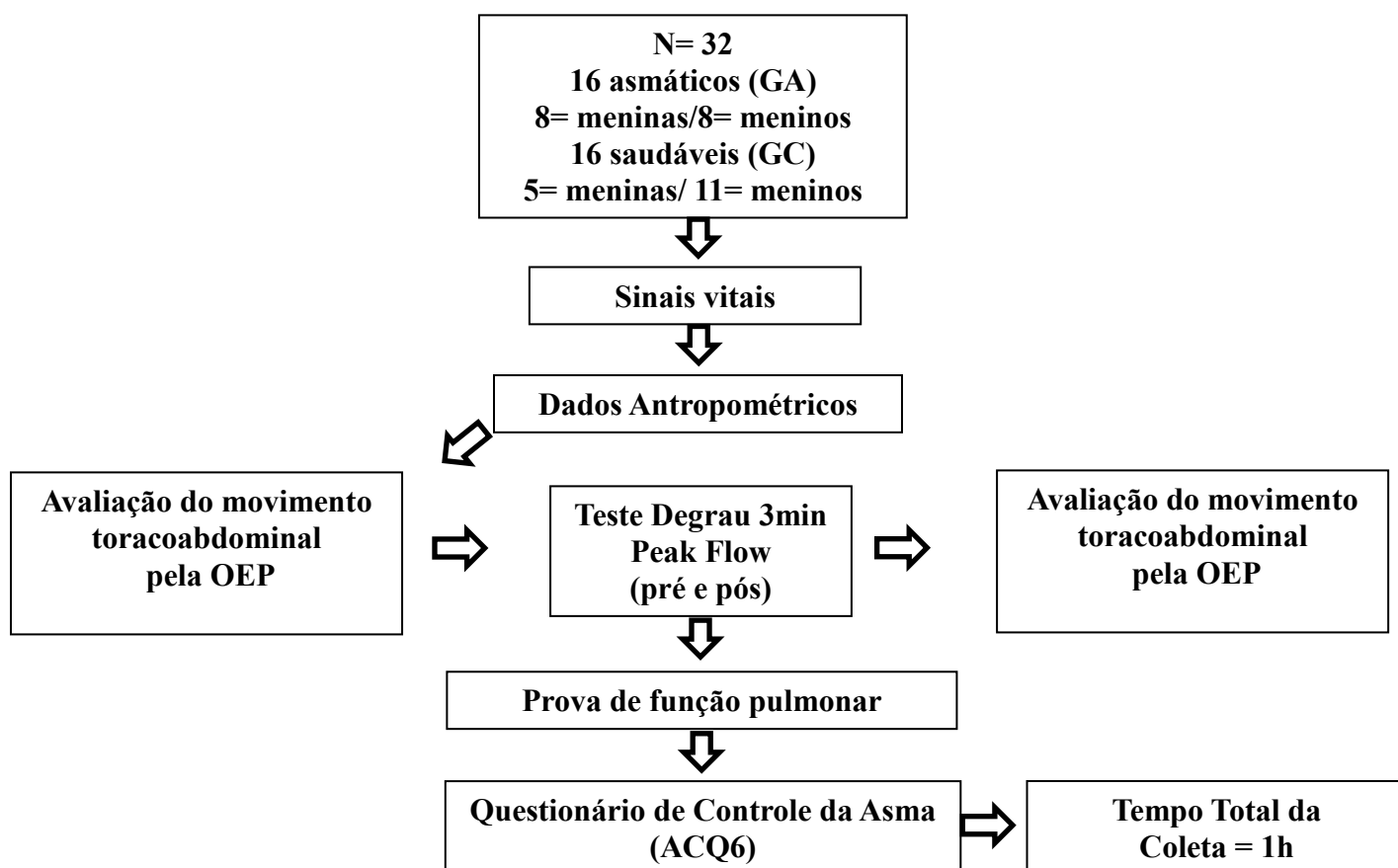
Foram incluídas crianças e adolescentes com idades entre 5 e 14 anos, previamente com diagnóstico de asma, classificados como leve de acordo com o GINA, 2019¹⁴ e clinicamente controlados de acordo com o questionário ACQ6 e saudáveis na mesma faixa etária. Ambos os sexos e que não praticassem atividade física regular (informação adquirida durante anamnese). Deveriam estar sem

agudização por no mínimo 30 dias e concordar com o termo de assentimento e seus responsáveis legais com o termo de consentimento livre esclarecido.

4.5- Critérios de exclusão

Os critérios de exclusão da pesquisa incluíam a impossibilidade de compreensão de algum dos testes, intolerância às atividades propostas, processo infeccioso ativo com quadro febril, doença cardíaca associada e não ter acompanhamento com pneumologista.

5- FLUXOGRAMA



6- AVALIAÇÕES E TESTES

Foi realizada uma avaliação em apenas um dia, com duração de 1 hora, na qual foi realizada avaliação antropométrica, avaliação da função pulmonar, aplicado o questionário de controle clínico e avaliação da cinemática torácica e abdominal.

6.1- Dados Antropométricos

Todas as crianças e adolescentes realizaram avaliação do peso corporal obtido por uma balança digital (*Filizola*®, Brasil). A estatura foi verificada por um estadiômetro de parede (*Wiso*), com resolução em milímetros. Foi utilizado o programa Anthroplus para a determinação do escore Z, de acordo com a determinação estabelecida pela World Health Organization⁴⁴. O Z-score é utilizado para classificar a criança como obesa ou eutrófica, dependendo do escore Z, mantendo valores entre 2 e -2.

6.2- Avaliação do movimento toracoabdominal pela OEP

A coleta dos dados foi feita utilizando-se um pletismógrafo optoeletrônico (OEP), marca System (BTS, Italy), instrumento não invasivo, capaz de analisar de forma tridimensional e tricompartimental a ventilação pulmonar, analisando o movimento toracoabdominal e o padrão respiratório, sem comprometer graus de liberdade da parede torácica¹⁸.

Equipado com 8 câmeras, sendo 4 posicionadas a frente e 4 atrás do sujeito (figura 1), que após a captação dos movimentos toracoabdominais, por meio de 89 marcadores retrofloscentes acoplados no tórax dos sujeitos transmitiram os movimentos toracoabdominais em tempo real, de 60 frames por segundo, sincronizados com diodos axiais que emitiam luz infravermelha, retrorefletidas pelos marcadores, para o referido sistema OEP. Tais sinais foram instantaneamente registrados pelo software OEP *Capture* e analisados pelo software *Smart Analyzer*, específico para transformar essa captação em uma informação geométrica

tridimensional (3D), além de calcular dados referentes à mecânica pulmonar e cinemática toracoabdominal.

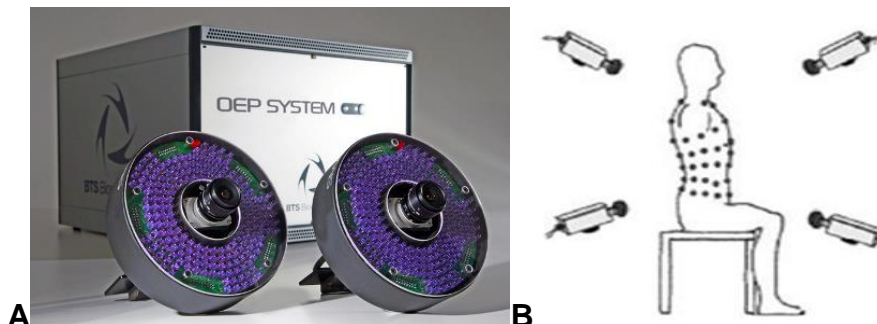


Figura 1- A- Câmeras do equipamento OEP SYSTEM da BTS (Fonte: site do fabricante); **B-** Incidência de feixes infravermelho sobre o corpo do paciente

Para uma boa acurácia na reconstrução 3D, foi realizado ajuste das câmeras e uma calibração prévia, relativamente simples do aparelho, procedimentos específicos que garantem a determinação das coordenadas tridimensionais, conforme orientação do fabricante (figura 2). Os marcadores reflexivos foram colados com adesivo dupla-face, no tórax dos sujeitos (figura 3), que permaneceram sentados em um banco sem apoio nas costas, em local previamente determinado pelo modelo, presente no software do equipamento. A colocação dos marcadores em linhas teve como orientação as estruturas anatômicas sendo a fúrcula esternal e as clavículas até o nível da crista ilíaca anteroposterior, sendo 42 marcadores anteriores, 37 posteriores e 10 laterais, totalizando 89 marcadores.



Figura 2- Calibração prévia do aparelho, conforme coordenadas tridimensionais

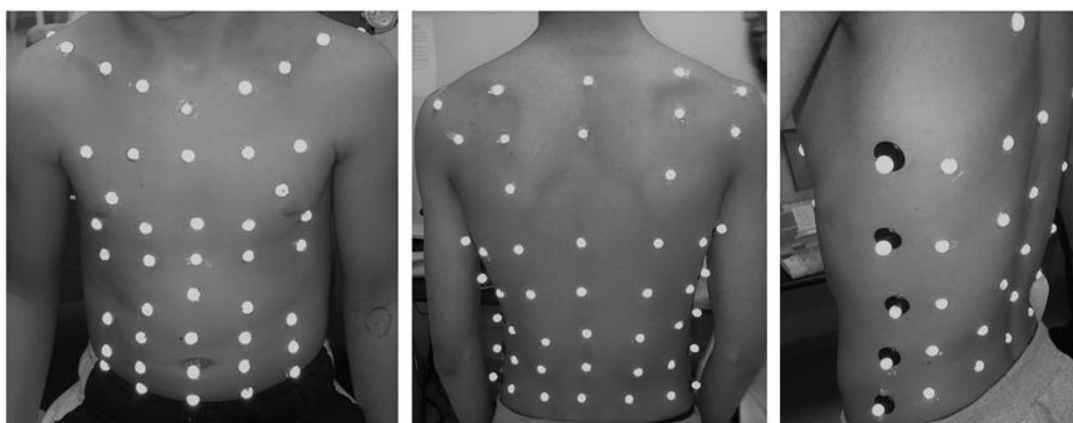


Figura 3- Ilustração dos marcadores para coleta nas vistas A anterior e B posterior e C lateral.

Durante toda a coleta a criança e o adolescente foi instruído a permanecer sentado, com as pernas a 90° e com pés apoiados e com os braços apoiados na cintura, de forma que não atrapalhasse a captação de nenhum marcador pelas câmeras (Figura 4) e instruído a respirar normalmente e assim foi realizada a captação dos movimentos torácico e abdominal, por 50 segundos (média de 20 ciclos respiratórios por coleta), de forma que após a coleta foram selecionados os 3 ciclos mais homogêneos e tecnicamente adequados (tamanho e altura dos ciclos), para que fossem selecionados para análise. Este procedimento foi realizado com a criança em respiração espontânea pré esforço e pós esforço físico.



Figura 4- Posição da coleta

Os parâmetros avaliados pela OEP foram (Figura 5): Volume minuto (VM), Volume corrente (VC), Tempo inspiratório (Ti), Tempo expiratório (Te), Tempo total do ciclo, Ti/T_{tot} , VC torácico (VC tx), % VC tx, VC inter e %VC inter, VC abdômen (VC abd) e %VC abd. Variações de volume do abdômen, dividida pelo tempo inspiratório (VAb/Ti) e da caixa torácica, dividida pelo tempo inspiratório ($VRcp/ti$), foram utilizados como índices de encurtamento do índice de velocidade do músculo diafragma (Vdi), respectivamente, enquanto variações de volume do abdômen dividido pelo tempo expiratório (VAb/Te) como índice de velocidade de encurtamento dos músculos expiratórios abdominais, como descrito anteriormente⁴⁵.

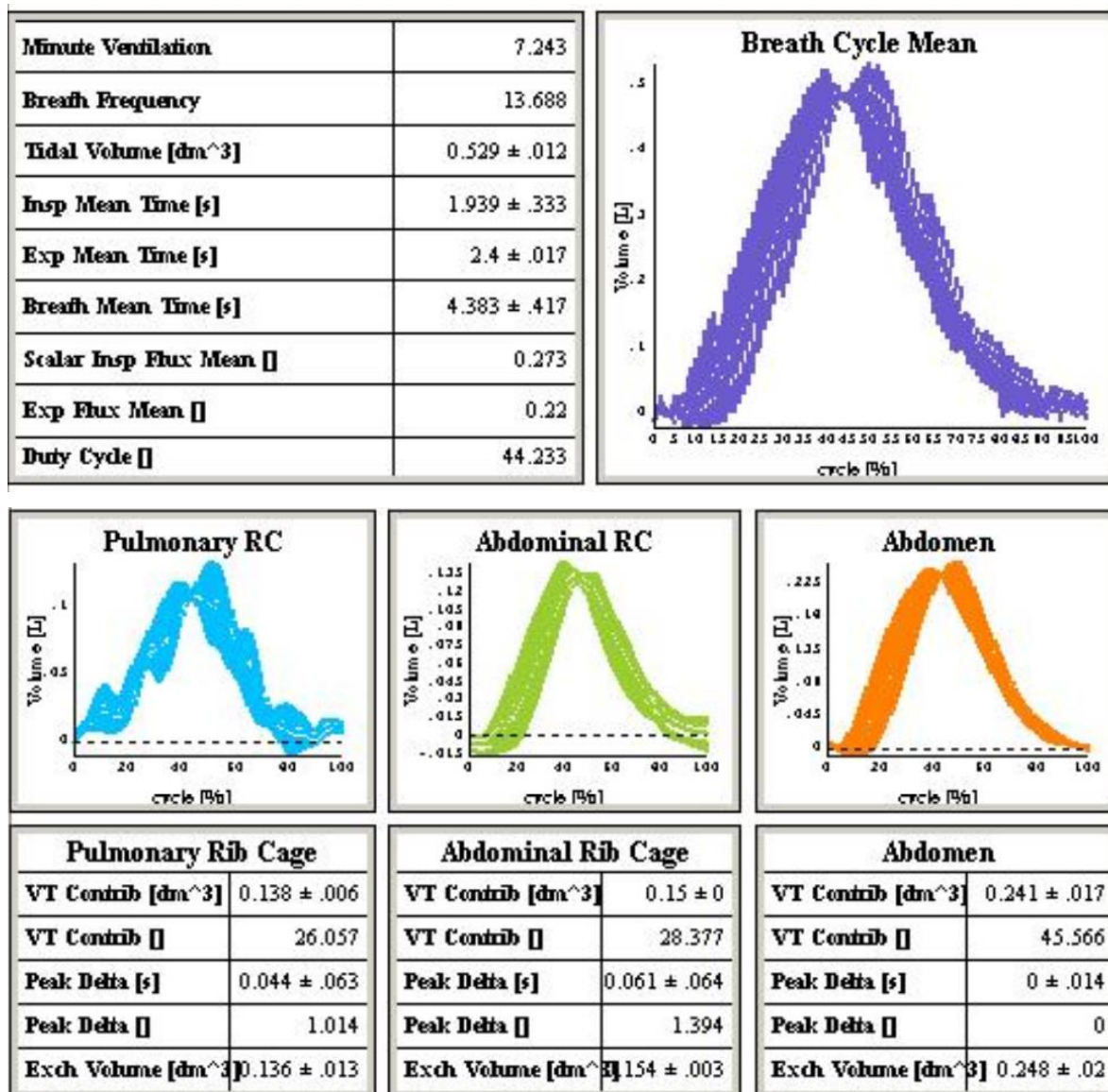


Figura 5- Parâmetros fornecidos pela Pletismografia Optoeletronica.

Com essa colocação dos marcadores foi possível a captação dos movimentos da caixa torácica pelas câmaras e, por meio do software *Smart Capture*, realizar a leitura dos movimentos da caixa torácica em diferentes compartimentos, sendo que para este estudo foram explorados três compartimentos, à saber: Caixa Torácica Pulmonar (CTP), Caixa torácica abdominal (CTA) e Abdômen (ABD). Com isso, na medida em que os movimentos respiratórios foram realizados, os referidos marcadores possibilitaram, por meio de derivações e composições geométricas tridimensionais (3D), gerar relatórios por compartimentos. Em seguida foram selecionados para análise 3 ciclos respiratórios de tamanho e altura mais

homogêneos, tecnicamente adequados, para que pudesse ser analisado pelo software *Smart Tracker* (figura 6).

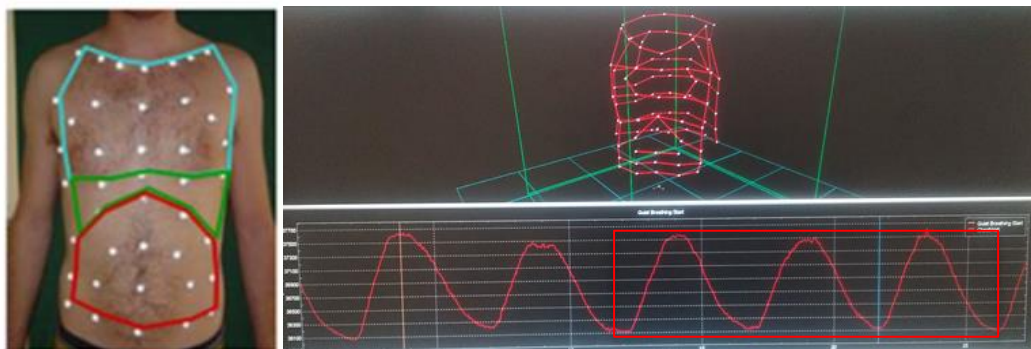


Figura 6- Representação dos compartimentos da parede torácica e Ciclos respiratórios captados pela OEP, pelo software *Smart Tracker*.

6.3 – Teste do Degrau de 3 Minutos

Testes cadenciados têm a vantagem de não dependerem exclusivamente da motivação do paciente, como o TD3^{46,47}. Nele as crianças e adolescentes sobem e descem uma plataforma com um único degrau, sendo tempo e frequência fixos. Desse modo, o teste tem como vantagens ser rápido, simples, portátil, além de requerer pouco espaço para sua execução. 33

Para a realização do teste, foi utilizado um degrau confeccionado de madeira, cujas dimensões foram de 20 cm de altura^{48,49}, apresentando uma superfície antiderrapante, cadenciado por um metrônomo, cadência de 30 degraus por minuto, aparelho que através de pulsos de duração regular, indica um andamento musical, para que a criança atingisse de 70% a 75% da FC máxima, que foi obtida utilizando a fórmula de Tanaka $208 - (0,7 \times \text{idade})$ ⁵⁰, a fim de avaliar o padrão de movimento toracoabdominal pré e pós esforço submáximo. Esse tempo de 3 minutos fornece aos pacientes alterações metabólicas, ventilatórias e cardiovasculares, possibilitando a avaliação da tolerância ao esforço⁵¹. Foi optada por essa intensidade de esforço para se reduzir a possibilidade de broncoespasmo induzido. Antes e após o teste foi realizada a monitorização de FC, PA e SpO2 e durante o teste foi monitorado a SpO2 (figura 7).

O teste de degrau de 3 minutos foi realizado, simulando uma atividade no degrau, apenas para promover no paciente aumento da demanda respiratória, e assim avaliar o comportamento da movimentação dos compartimentos torácico, abdominal e abdômen. Não foi utilizado com objetivo de percepção de esforço.



Figura 7- Atividade no degrau

6.4- Prova de função pulmonar

A avaliação da prova de função pulmonar tem a finalidade de caracterizar a gravidade da asma, ela depende de alguns fatores como: peso, altura, sexo, idade, cigarro e etnia, sendo sua interpretação dependente de valores de referências calculada de uma população saudável. Esse exame determina o diagnóstico de asma numa redução do Volume Expiratório Forçado no Primeiro Segundo (VEF_1) abaixo de valores de 80% do previsto e relação com a Capacidade Vital Forçada (CVF) com o VEF_1 (VEF_1/CVF) menor que 80% em pacientes pediátricos⁵².

Para a análise do estudo a função pulmonar foi analisado os seguintes volumes, capacidades e fluxos pulmonares: Capacidade Vital Forçada (CVF) e suas derivações, como o Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1) e as relações VEF_1/CVF .

Todas as crianças e adolescentes asmáticos, já tinham uma espirometria prévia feita com o médico pneumologista e foram classificados de acordo com o GINA, 2019 com asma leve. A maioria dos pacientes usava corticoide inalatório, broncodilatador de curta duração (Aerolin) e bloqueador de leucotrienos.

6.5 - Pico de Fluxo Expiratório (PFE) ou Peak-Flow

O PFE demonstra o fluxo máximo gerado durante uma expiração forçada, sendo realizada com intensidade máxima, de um nível máximo de insuflação pulmonar (Capacidade pulmonar total), essa medida pode ser considerada um indicador indireto de obstrução das grandes vias aéreas, podendo ser afetado com o grau de insuflação pulmonar, elasticidade do tórax, força muscular do paciente. Essa medida pode ser obtida através de aparelhos de espirômetro, ou por aparelhos portáteis, de custo baixo e relativamente manuseio simples⁵³. Para análise do Peak-Flow foi utilizado o Medidor de Fluxo de Pico Digital (*Microlife PF 100*). Será considerado o melhor de 3 aferições consecutivas, as medidas serão realizadas com o paciente em ortostatismo e um clipe nasal para evitar escape de ar pelas vias aéreas superiores. Os valores de referência serão obtidos através do *Polgar & Promadhat*. Diminuição do VEF₁ de 10% e Peak Flow de 20% é considerado broncoespasmo⁵⁴.

Essa avaliação, que também é realizada nos testes espirométricos, terá aqui neste estudo o objetivo de monitorar o fluxo expiratório máximo das crianças e adolescentes asmáticos, após esforço submáximo e foi realizado 10 minutos pós esforço submáximo.

6.6- Questionário de Controle da Asma (ACQ6)

O Asthma Control Questionnaire (ACQ) trata-se de um questionário Para avaliar o controle clínico em pacientes asmáticos e é composto por 7 questões, 5 relacionada com os sintomas da asma, um em relação ao uso de β 2-agonista de curta duração como medicação de resgate, e uma relação VEF₁ pré-broncodilatador em percentagem do previsto. A Pontuação do ACQ é a média desses itens e varia de 0

(totalmente controlado) a 6 (descontrolada) obtido em um período de 7 dias. O ponto de corte para a asma controlada / descontrolada é de 2 pontos. O paciente foi classificado de acordo com os escores do ACQ6 em controlada ($<0,75$), parcialmente controlada ($0,75-1,5$) e asma não controlada ($> 1,5$). Uma diferença importante clínica mínima é de 0,5 numa escala de 7 pontos⁵⁴.

7- CÁLCULO AMOSTRAL E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O cálculo amostral foi realizado após um estudo piloto com 10 indivíduos, foi utilizada a média do tempo expiratório das crianças e adolescentes asmáticos e do grupo controle em repouso (GA= 1,76 e GC=1,55) com desvio padrão de 0,4, resultando um total de 28 pacientes. O cálculo utilizou um Power de 80% e um nível de significância de 0,05 foi optado por incluir e avaliar no mínimo 32 pacientes. Para a verificação da normalidade dos dados foi utilizado o teste de Shapiro Wilk. Para comparação entre os grupos foi utilizado o teste t não pareado ou Mann Whitney. O software utilizado foi o Minitab 14 e o nível de significância foi de 0,05.

8- RESULTADOS

Foram recrutadas um total de 38 crianças e adolescentes asmáticas e saudáveis, sendo 19 asmáticas e 19 saudáveis. Destas 6 foram excluídas por não se sentirem confortáveis com a colocação dos marcadores para avaliação da Pletismografia optoeletrônica, sendo 3 asmáticas e 3 saudáveis. Após exclusão foram avaliadas 32 crianças e adolescentes, sendo destas 16 asmáticas, sendo 8 meninos e 8 meninas e 16 saudáveis (controle), sendo 5 meninas e 11 meninos. Em ambos os grupos nenhuma das meninas estavam em fase de menarca.

Na tabela 1 estão os dados antropométricos, função pulmonar e o controle clínico da asma (ACQ6). A amostra basicamente foi composta de crianças e adolescentes eutróficos em ambos os grupos, com asma leve e clinicamente controlados (de acordo com os dados da tabela 1), os mesmos usavam corticoide inalatório, broncodilatador de curta duração (Aerolin) e bloqueador de leucotrienos.

Tabela 1 - Dados antropométricos e características da amostra

	Asma (n=16)	Controle (n=16)	p
Idade (anos)	8,9 ± 2,4	10 ± 3,9	0,357
Peso (kg)	38,9 ± 15	38,7 ± 17,8	0,969
Z Score peso	1,76	1,10	-
Altura (m)	1,40 ± 0,17	1,39 ± 0,25	0,974
Z Score altura	1,23	0,21	-
IMC	19,1 ± 4,3	18,5 ± 2,8	0,696
Z Score IMC	1,54	1,29	-
CVF %	96,3 ± 12,6	109 ± 20,4	0,04*
VEF₁ %	84,8 ± 10,2	104,4 ± 20,1	0,002*
VEF₁/CVF %	87,9 ± 7,7	95,8 ± 7,3	0,006*
ACQ6*	0,41 (0,16 - 1,16)	-	-

Kg: quilos, m: metros, IMC: índice de massa corpórea, CVF: capacidade vital forçada, VEF₁: volume expiratório forçado no primeiro segundo. *p<0,05 intragrupo.

A frequência cardíaca (FC) de repouso no grupo de crianças asmáticas foi mais alta que a FC de repouso no grupo controle, porém sem significância estatística. A média de degraus e a intensidade alcançada foi em torno de 60 a 70% da FC máxima em ambos os grupos. A intensidade do exercício executado não desencadeou broncoespasmo no grupo de crianças com asma. Houve diferença entre os grupos quanto ao VEF₁ inicial e final (Tabela 2).

Tabela 2- Características do exercício

	Asma (n=16)	Controle (n=16)	p
FC repouso (bpm)	111±21	98±16	0,06
FC máxima (bpm)	134 ±16	141±33	0,540
% da FC máx	66,6±8,5	66,5±14,5	0,976
Degaus 3 min	80,9± 11,7	83,5± 9,2	0,495
SpO2 inicial (%)	95,1± 3	95± 2,8	0,293
SpO2 final (%)	95,8 ± 2,6	95,5± 2,8	0,216
VEF₁ inicial (L)	1,8 ± 0,5	2,1 ± 0,9	0,201
VEF₁ final (L)	1,7±0,5	2,2± 0,9	0,04*
VEF₁ inicial (%)	85,7±10	101±15	0,002*
VEF₁ final (%)	80,9±11	104,7±12	0,006*

FC: frequência cardíaca, SpO2: saturação periférica de oxigênio, VEF₁: volume expiratório forçado no primeiro segundo. *p<0,05 intragrupo.

Quanto ao padrão respiratório e de movimento toracoabdominal avaliado pela OEP, houve maior variação do volume minuto, frequência respiratória (f) e volume corrente (VC) no grupo controle após o esforço físico.

A contribuição torácica no volume corrente em repouso é maior no grupo asma e após o esforço essa contribuição tende a reduzir 2,7% enquanto no grupo controle ocorre o oposto um aumento da contribuição deste compartimento em torno de 7%.

No entanto a contribuição do compartimento abdominal no VC é maior em repouso no grupo controle e tende a reduzir por volta de 7,8% após o esforço físico.

Comportamento inverso se observa no grupo asma em que há um aumento de participação do compartimento abdominal de 2,2% após o esforço físico.

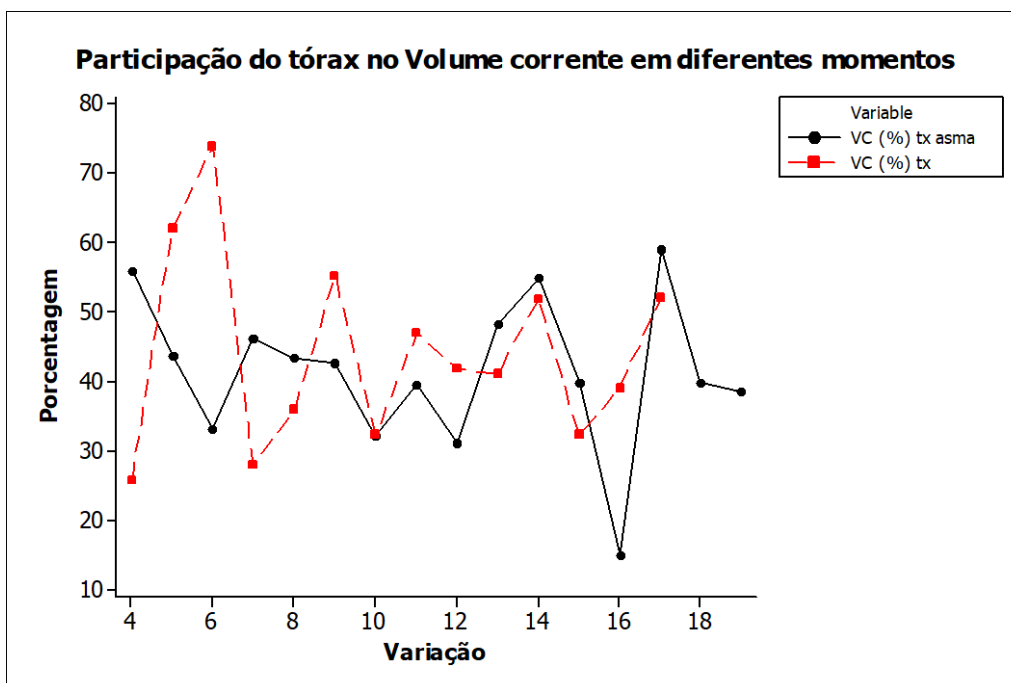
Quanto a velocidade de contração do diafragma em ambos os grupos ocorre o aumento após o esforço, porém este aumento só foi significativo no grupo controle. (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados padrão respiratório e de movimento toracoabdominal pela OEP

	Asma				Controle			
	pre	pos	Δ	p	Pre	pos	Δ	p
Volume Min	6,5±3	9,9±8,1†	3,4	0,131	6,5±2,5	11,4±5,3	4,9	0,003*
VC total (ml)	335 ±226†	401±273	66†	0,313	305±149	458±327	153†	0,06
Fr	21±6	23±3	2†	0,07	22±6	28±9	6†	0,04*
Ti	1,28±0,5	1,13±0,2	-0,15	0,188	1,12±0,3	0,92±0,23	-0,2	0,03*
Te	1,73±0,4†	1,44±0,2	-0,29	0,04*	1,58±0,3	1,35±0,3	-0,23	0,07
Ttot	3,01±0,8	2,57±0,3	-0,44	0,06	2,78±0,67	2,33±0,61	-0,45	0,04*
VC tx	148±108	221±258	73	0,305	117±0,07	205±182	88	0,05*
% VC tx	41,5±10,8	38,8±9,9	-2,7†	0,249	37,2±14,2	44,2±13,7	7†	0,02*
VC in	0,05±0,05	0,07±0,03	0,02	0,123	0,05±0,04	0,07±0,05	0,02	0,09
% VC in	17,6±7,3	18,2±8,6	0,6	0,784	16,8±6,7	17,5±4,8	0,7	0,633
VC abd	128±61	153±123	25	0,372	133±66	172±116	39	0,171
% VCabd	40,6±11,8	42,6±12,9	2†	0,502	45,9±16	38,1±13	-7,8†	0,04*
VRcp/Ti	0,11±0,05	0,22±0,32	0,11	0,183	0,10±0,05	0,20±0,11	0,10	0,003*
VAb/Ti	0,10±0,03	0,14±0,14	0,04	0,254	0,12±0,04	0,17±0,09	0,05	0,04*
VAb/Te	0,07±0,03	0,11±0,11	0,04	0,166	0,08±0,03	0,12±0,07	0,04	0,03*

VC =Volume Corrente; f =Frequência Respiratória; VM =Volume Minuto; Ti =Tempo inspiratório; Te =Tempo expiratório; Ti/Ttot= Tempo total do ciclo respiratório, VC tx= volume corrente torácico, VC abd= volume corrente abdominal, VRcp= volume da caixa torácica pulmonar, VAb= volume do abdômen. *p<0,05 análise intragrupo. †p<0,05 análise intergrupo.

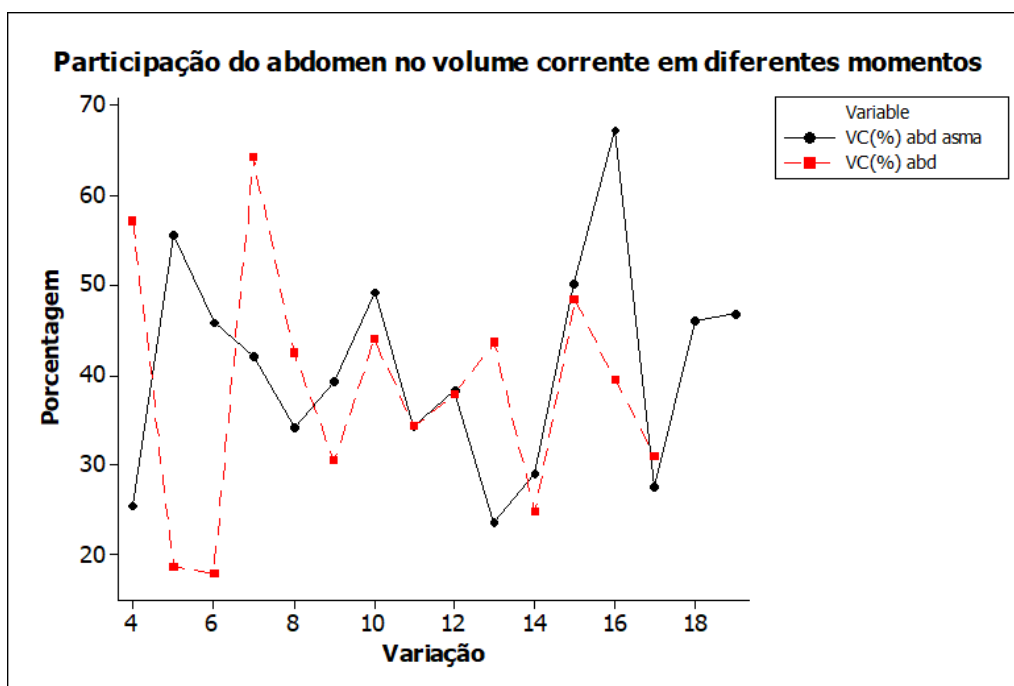
À seguir, no gráfico 1, a porcentagem de contribuição torácica no repouso é maior no grupo asmático e menor no grupo controle.



VC(%) tx= porcentagem volume corrente de tórax

Gráfico 1- Participação do tórax no volume corrente em diferentes momentos

No gráfico 2, após o exercício, ocorre uma mudança no padrão. Os dois compartimentos caminham em sentidos opostos, ou seja, tem aumento da participação, contribuição da porcentagem do volume corrente do abdômen no grupo asmáticos e menor contribuição no grupo controle.



VC(%) abd= porcentagem volume corrente de abdômen.

Gráfico 2- Participação do abdomen no volume corrente em diferentes momentos

9- DISCUSSÃO

Crianças e adolescentes asmáticos, segundo os nossos achados, apresentam em repouso maior contribuição do compartimento torácico no volume corrente enquanto as crianças e adolescentes do grupo controle apresentam maior contribuição do compartimento abdominal. Há décadas se estuda o padrão de movimento do complexo tóraco abdominal na respiração tranquila, na doença e em condições de esforço físico, porém há escassez de avaliação na população pediátrica, em asmáticos e em condições submáximas^{55, 56}. A importância desses achados nos dá informações importantes de que mesmo em repouso ou em níveis moderados de esforço e sob controle clínico, esses pacientes apresentam alterações cinemáticas que interferem na coordenação da ação muscular respiratória e que essas são prováveis interferências no desempenho de atividades físicas e cognitivas⁵⁷ (atividades não respiratórias).

Na respiração normal em repouso, para uma maior eficiência e menor gasto energético, ocorre uma ação sinérgica entre os músculos motores primários que atuam de forma fásica e acessórios da respiração que atuam de forma tônica para estabilizar o gradil costal. Essa ação sinérgica é observada pelo movimento dos compartimentos toracoabdominal que devem se deslocar em fase (juntos) para cima e para fora na fase inspiratória e para dentro e para baixo na fase expiratória^{55, 58,56}. Em condições de aumento de demanda por atividade física é normal que haja maior participação do compartimento torácico, como foi encontrado em nossos resultados, gerando maior expansão e aumento do volume minuto e do volume corrente, devido a um melhor comprimento e capacidade de gerar movimentos dos músculos acessórios⁵⁹.

Na presença de obstrução brônquica crônica como na asma, os músculos inspiratórios trabalham contra carga aumentada mesmo durante o repouso, gerando um novo arranjo biomecânico e uma assincronia entre os músculos primários da respiração e os acessórios. Os músculos acessórios entram em ação em repouso ou em baixo nível de esforço e as forças deste grupo muscular que em situações normais trabalham de forma aditiva, passam a trabalhar de forma dispersiva. O resultado é uma elevação precoce do compartimento torácico, um menor comprimento muscular e relaxamento limitado. Ocorre ainda nas crianças asmáticas

uma tensão abdominal na fase inspiratória e nas saudáveis essa tensão máxima ocorre na fase expiratória⁵⁶.

Em casos de aumento de demanda a participação do compartimento torácico fica reduzida, e isso já acontece em atividades submáximas como demonstrou nossos resultados, justificando assim o pequeno aumento da participação abdominal uma vez que o encurtamento da musculatura inspiratória limita o movimento longitudinal do diafragma^{59, 35,60}.

O volume corrente de repouso assim como o tempo inspiratório e expiratório são maiores na criança e adolescente com asma do que no grupo controle e a variação do volume corrente, volume minuto e frequência respiratória é menor. O que está em concordância com o estudo de Ramonatxo et al.¹¹, que mostrou esse padrão respiratório com maior tempo inspiratório e tempo total, maior volume corrente e menor variação da frequência respiratória. Neste mesmo estudo atribuiu-se a um menor nível de esforço nestas crianças pela dificuldade em aumentar a frequência respiratória. O padrão respiratório adotado frente às limitações impostas pela resistência das vias aéreas é mais lento na tentativa de turbilhonar menos o ar. Um tempo inspiratório maior que essas crianças e adolescentes apresentam tanto em repouso quanto após o esforço físico denota um trabalho respiratório maior o que explica o custo destes arranjos biomecânicos adotados para a manutenção de uma ventilação normal^{11,56}.

Não foram encontrados na literatura artigos com a utilização da Pletismografia Optoeletrônica na faixa etária de 5 à 14 anos devido dificuldades de protocolo com a utilização dos marcadores, devido sobreposição de marcadores, a queda dos mesmos, somente em bebês e adultos. Também não foi encontrado realizando atividade em níveis submáximos de esforço nessa faixa etária.

9.1- Limitações do Estudo

A limitação que pode ser atribuída ao estudo foi a não utilização de eletromiografia, porém esses padrões respiratórios e ativações musculares já estão amplamente descritas na literatura.

9.2 – Considerações finais

O que este estudo traz de inovador é a utilização da Pletismografia Optoeletrônica e a realização de uma atividade em nível submáximo de esforço em crianças e adolescentes na faixa etária de 5 à 14 anos. Outros estudos avaliam pacientes em níveis máximos de esforço.

10- CONCLUSÕES

O comportamento cinemático ao repouso e após o esforço físico submáximo de crianças e adolescentes asmáticos mostrou comportamento inverso aos saudáveis, mostrando as possíveis adaptações mecânicas e fisiológicas, com vistas a minimizar possível turbilhonamento do fluxo aéreo, reduzindo o impacto na resistência das vias aéreas quando realizam uma atividade ou esforço físico e estas alterações estão presentes mesmo em repouso e em pacientes clinicamente controlados.

11- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Macklem PT. Clinical assessment on the respiratory muscles. *Pneumonol Pol.* 1988;56(6):249-53.
2. Alivert A, Pedotti A. *Mechanics of Breathing. New Insights from. New Technologies. Second Edition.* Springer Milan Heidelberg New York Dordrecht London. 2014
3. De Troyer A, Estenne M. Functional anatomy of the respiratory muscles. *Clin Chest Med.* 1988;9(2):175-93.
4. Feltrim M. Estudo do padrão respiratório e da configuração toracoabdominal em indivíduos normais, nas posições sentada, dorsal e laterais, com o uso da pletismografia por indutância [dissertação]. São Paulo (SP): Universidade Federal de São Paulo; 1994.
5. Chadha TS, Watson H, Birch S et al (1982) Validation of respiratory inductive plethysmography using different calibration procedures. *Am Rev Respir Dis* 125:644
6. Zimmerman PV, Connellan SJ, Middleton HC, Tabona MV, Goldman MD, Price N (1983) Postural changes in rib cage and abdominal volume-motion coefficients and their effect on the calibration of a respiratory-inductive plethysmograph. *Am Rev Respir Dis* 127:209–214
7. Sackner MA, Watson H, Belsito AS, Feinerman D, Suarez M, Gonzalez G, Bizousky F, Krieger B (1989) Calibration of respiratory inductance plethysmography during natural breathing. *J Appl Physiol* 66:410–420
8. Kiciman NM, Andreasson B, Bernstein G, Mannino FL, Rich W, Henderson C, et al. Thoracoabdominal motion in newborns during ventilation delivered by endotracheal tube or nasal prongs. *Pediatr Pulmonol.* 1998;25(3):175-81.
9. Sackner MA, Gonzalez H, Rodriguez M, Belsito A, Sackner DR, Grenvik S. Assessment of asynchronous and paradoxical motion between rib cage and abdomen in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis.* 1984;130(4):588-93.
10. Tobin MJ. Respiratory muscles in disease. *Clin Chest Med.* 1988;9:263-7.
11. Ramonatxo M, Amsalem FA, Mercier JG, Jean R, Prefaut CG. Ventilatory control during exercise in children with mild or moderate asthma. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1989;21(1):11–17.
12. Ceugniet F, Cauchefer F, Gallego J. Voluntary decrease in breathing frequency in exercising asthmatic subjects. *Eur Respir J* 1996;9(11):2273–2279.

13. Ashutosh A, Gilbert R, Auchincloss JH, Peppi D. Asynchronous breathing movements in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*. 1975;67:553-7.
14. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention, 2019. Available from: www.ginasthma.org
15. Gomes ELFD, Costa D, Evaluation of functional, autonomic and inflammatory outcomes in children with asthma. *World J Clin Cases* 2015 March 16; 3(3): 301-309.
16. Lewis MJ; Short AL; Lewis KE. Autonomic nervous system control of the cardiovascular and respiratory systems in asthma. *Respir Med*. 2006; 100, 1688-1705.
17. Rundell KW, Anderson SD, Sue-Chu M, Bougault V, Boulet LP. Air Quality and Temperature effects an Exercise Induced Bronchoconstriction. *Comp Physiol*. 2015. Apr.5 (2):579-610.doi.10.1002/cphy.c.130013.
18. Gleason M, Cicutto L, Hass Chisty, et al. Leveraging Partnerships: Families, Schools, and Providers Working Together to Improve Asthma Management. *Curr Allergy Asthma Rep* (2016) 16:74.
19. Asher MI, Weiland SK. The International Study of Asthma and Allergy in Childhood(ISAAC). ISAAC Steering Committe *Eur Respir J*. 1998;12:315-35.
20. Asher, I. The International Study of asthma and Allergies in Childhood (ISSAC). *New Zeland Medical Journal*. 2008:121,117-118.
21. Solé D, Melo KC, Camelo-Nunes IC, Freitas LS, Britto M, Rosario NA, Jones M, Fischer GB, Naspitz CK. Changes in the prevalence of asthma and allergic diseases among Brazilian schoolchildren (13-14 years old): comparison between ISAAC Phases One and Three. *J Trop Pediatr*.2007 Feb;53(1):13-21. Epub Sep 2006.
22. British Thoracic Society Scottish Intercollegiate Guidelines Network. British guideline on the management of asthma. A national clinical guideline. Revised in 2016.
23. Jardim JR, Mayer AF, Camalier A. Músculos respiratórios y rehabilitación pulmonar en asmáticos. *Arch Bronconeumol*. 2002; 38(4):181-188.
24. Neder JA, Neri LE, Silva AC et al. Short term effects of aerobic training in the clinical management of moderate to severe asthma in children. *Thorax*. 1999; 54:202–206.
25. Mendes FA, Almeida FM, Cukier A, Stelmach R, Jacob-Filho W, Martins MA et al. Effects of aerobic training on airway inflammation in asthmatic patients. *Med Sci Sports Exerc*. 2011; 43: 197–203.

26. Fanelli A, Cabral AL, Neder JA, Martins MA, Carvalho CRF. Exercise training on disease control and quality of life in asthmatic children. *Med Sci Sports Exerc.* 2007.
27. Pinto-França A, Mendes FAR, Carvalho-Pinto RM et al. Aerobic training decreases bronchial hyperresponsiveness and systemic inflammation in patients with moderate or severe asthma: a randomised controlled trial. *Thorax.* 2015; 70(8):732-739.
28. Gao Z, Podlog L, Huang C. Associations among Children's situational motivation, physical activity participation and enjoyment in an active dance video game. *J Sports Health Science.* 2013; (2):122–8.
29. Santana JH, Afonso JE; Pathophysiology of bronchial Asthma. *Jornal de Pneumologia.* 9(4)Dez1983;211-225.
30. Dodig S, Richter D, Zrinskotopic R. Inflammatory Marks in Childhood Asthma. *Clin Chim Lab Med.* 2011; 49:587-99.
31. Aliverti, A., Cala, S. J., Duranti, R., Ferrigno, G., Kenyon, C. M., Pedotti, A., et al. (1997). Human respiratory muscle actions and control during exercise. *J. Appl. Physiol.* 83, 1256–1269. doi: 10.1152/jappl.1997.83.4.1256.
32. Wilkens, H., Weingard, B., Lo Mauro, A., Schena, E., Pedotti, A., Sybrecht, G. W., et al. (2010). Breathing pattern and chest wall volumes during exercise in patients with cystic fibrosis, pulmonary fibrosis and COPD before and after lung transplantation. *Thorax* 65, 808–814. doi: 10.1136/thx.2009.131409.
33. Del Giacco, S. R., Firinu, D., Bjermer, L., and Carlsen, K. H. (2015). Exercise and asthma: an overview. *Eur. Clin. Respir. J.* 2:27984. doi: 10.3402/ecrj.v2.27984 England, S. J., and Bartlett, D. Jr. (1982). Changes in respiratory movements of the human vocal cords during hyperpnea. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 52, 780–785.
34. Tobin, M. J., Chadha, T. S., Jenouri, G., Birch, S. J., Gazeroglu, H. B., and Sackner, M. A. (1983). Breathing patterns. 2. Diseased subjects. *Chest* 84, 286–294. doi: 10.1378/chest.84.3.286.
35. Aliverti, A. (2008). Lung and chest wall mechanics during exercise: effects of expiratory flow limitation. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 163, 90–99. doi: 10.1016/j.resp.2008.07.025.
36. Payne D, Bush A. Phenotipe-Specific triatment of difficult Asthma in Children. *Pediatric Resp. Ver.* 2004; 5 (GINA): 116-23.
37. Barnes PJ. Pathophysiology os Asthma. *BR J. Clin. Pharmacol.* 1996;42:3-10.
38. Carson KV, Chandratilleke MG, Picot J, Brinn MP, Esterman AJ, Smith BJ. Physical training for asthma. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013; 30:9.

39. Allen JL, Wolfson MR, McDowell K, Shaffer TH. Thoracoabdominal asynchrony in infants with airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis.* 1990;141(2):337-42.
40. Sharp JT, Goldberg NB, Druz WS, Fishman HC, Danon J. Thoracoabdominal motion in chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis.* 1977;115(1):47-56.
41. Verschakelen JA, Demedts MG. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;151(2 Pt 1):399-405.
42. Dellaca RL, Ventura ML, Zannin E, Natile M, Pedotti A, Tagliabue P. Measurement of Total and Compartmental Lung Volume Changes in Newborns by Optoelectronic Plethysmography. *Pediatr Res* 2010; 67: 11-16.
43. Gilmartini JJ, Gibson GJ. Abnormalities of chest wall motion in patients with chronic airflow obstruction. *Thorax* 1984; 39: 264-271.
44. Onis M, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C and Siekmann, Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bulletin of the World Health Organization* 2007. 85 (9): 660-7.
45. Aliverti A, Pedotti A. Opto-electronic plethysmography. *Monaldi Arch Chest Dis.* 2003;59(1):12-6.
46. Balfour-Lynn IM, Prasad SA, Lavery A, Whitehead BF, Dinwiddie R. A step in the right direction: assessing exercise tolerance in cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol.*1998;25:278-84.
47. Radtke T, Stevens D, Benden C, Williams CA. Clinical exercise testing in children and adolescents with cystic fibrosis. *Pediatr Phys Ther.* 2009;21:275-81.
48. Dal Corso S, Duarte SR, Neder JA, Malaguti C, de Fuccio MB, de Castro Pereira CA, et al. A step test to assess exercise-related oxygen desaturation in interstitial lung disease. *Eur Respir J.* 2007;29(2):330-6. <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00094006>
49. American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 4th Edn. Philadelphia, Lea and Febiger, 1997.
50. Gorini M, Iandelli I, Misuri G, Bertoli F, Filippelli M, Mancini M, Duranti R, Gigliotti F, Scano G. Chest wall hyperinflation during acute bronchoconstriction in asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;160(3):808–816.
51. Pessoa BV, Jamami M, Basso RP, Regueiro EMG, Di Lorenzo VAP, Costa D. Step test and sit-to-stand test: behavior of metabolic, ventilatory and cardiovascular responses in patients with COPD. *Fisioter Mov.* 2012 jan/mar;25(1):105-15

52. Jones MH, Vidal PCV, Lanza FC, Silva DCF de MF, Pitrez PM, Olmedo APB de F, Burity EF, Schisler KL, Pinto LA, Winck AD, et al. Reference values for spirometry in Brazilian children. *J Bras Pneumol* 2020;46(3):e20190138.
53. Fonseca ACCF; Fonseca TM; Rodrigues ME; *et al.* Peak Expiratory Flow monitoring in asthmatic children. *Jornal de Pediatria*- Vol 82, N 6, 2006; 465-469.
54. Del Río-Navarro BE, Cisneros-Rivero MG, Berber-Eslava A, Espínola-Reyna G, Sienna-Monge JLL. Exercise induced bronchospasm in asthmatic and non-asthmatic obese children. *Allergol et Immunopathol* 2000;28:5-11.
54. Juniper EF, Svensson K, Mörk A-C, Ståhl E. Measurement properties and interpretation of three shortened versions of the asthma control questionnaire. *Respir Med* 2005;99(5):553–558.
55. Troyer AD, De Troyer A, Estenne M. Coordination between rib cage muscles and diaphragm during quiet breathing in humans. *Journal of Applied Physiology* 1984;57(3):899–906.
56. Kenyon CM, Cala SJ, Yan S, Aliverti A, Scano G, Duranti R, Pedotti A, Macklem PT. Rib cage mechanics during quiet breathing and exercise in humans. *J Appl Physiol* 1997;83(4):1242–1255.
57. Fokkema DS, Maarsingh EJW, van Eykern LA, van Aalderen WMC. Different breathing patterns in healthy and asthmatic children: responses to an arithmetic task. *Respir Med* 2006;100(1):148–156.
58. Campbell EJM. The respiratory muscles and the mechanics of breathing. 1958. p. 131-144.
59. Ratnovsky A, Elad D, Halpern P. Mechanics of respiratory muscles. *Respir Physiol Neurobiol* 2008;163(1-3):82–89.
60. Asai H, Onisawa S, Furuya N, Abe T, Ichimura T. Breathing Patterns in Asthmatic Children During Attack. *Journal of Asthma* 1990;27(4):229–236.