

1. INTRODUÇÃO

O diafragma é o principal músculo da respiração. Muito já foi estudado sobre sua forma e ação na mecânica respiratória. O objetivo deste trabalho é realizar uma breve revisão destes aspectos, unindo a visão anatômica clássica com a fisiologia respiratória, demonstrando métodos para investigação diafragmática e suas principais patologias.

2. MORFOLOGIA

O nome diafragma tem origem do grego *dia* (através) juntamente a *phragma* (tabique). É uma lâmina musculotendínea, larga e fina, em forma de cúpula, que compõe o assoalho da cavidade torácica, através de sua face superior convexa, e o teto da cavidade abdominal, por meio de sua superfície inferior côncava, separando assim as duas cavidades.

Pode-se considerar o diafragma como formado por pequenos músculos digástricos (com dois ventres), intermediados por tendões, os quais formariam o centro tendíneo. Desta maneira, o músculo possui uma porção muscular periférica e uma porção aponeurótica central.

Sua porção muscular periférica pode ser agrupada em três regiões: esternal, costal e lombar (figura 01).

- ☛ Parte esternal – representada por dois fascículos musculares verticais, com origem na borda posterior do apêndice xifóide e terminação na porção anterior da cúpula diafragmática, ao nível do centro tendíneo. Em cadáveres, esta porção parece frequentemente elevar-se a partir de sua origem, devido ao relaxamento e ascensão do diafragma após a morte. Entre cada uma destas fitas musculares, há um espaço avascular anteromediano, em forma de fenda, denominado hiato de Marfan. Já lateralmente a estas fitas musculares, há um espaço anterolateral, também em forma de fenda, conhecida como hiato esternocostal (hiato de Larrey – atual forame de Morgagni).
- ☛ Parte costal – possui fascículos musculares oblíquos com origem na borda interna das seis últimas costelas, sendo que na 7^a, 8^a e 9^a costelas a inserção dos fascículos musculares é condral, através de feixes musculares entrelaçados do músculo transverso do abdome, e na 10^a, 11^a e 12^a costelas a inserção é unicamente óssea. Posteriormente, as fibras musculares se fixam nos arcos de Sénac, formados por tecido aponeurótico entre a 10^a e 11^a costelas e entre a 11^a e 12^a costelas. A porção costal é responsável pela formação dos hemi-diafragmas ou cúpulas direita e esquerda, que se movem durante a respiração e são visíveis em radiografias de tórax.
- ☛ Parte lombar – possui um segmento medial e outro lateral. O segmento medial é composto pelos pilares (latim, *pernas*) diafragmáticos direito e esquerdo. Já o segmento lateral é composto por dois arcos aponeuróticos, chamados lombocostais lateral e medial.

O pilar diafragmático direito tem inserção sobre a superfície anterior do corpo das três primeiras vértebras lombares e seus discos intervertebrais. O pilar diafragmático esquerdo, por sua vez, é mais curto e fraco, inserindo-se nas duas primeiras vértebras lombares (local de inserção do músculo de Treitz – músculo suspensor do duodeno). Cada pilar sobe anteromedialmente, unindo-se ao pilar contralateral, formando assim o ligamento arqueado mediano e o orifício aórtico. Suas fibras musculares terminam por formar o hiato esofágico superiormente, tendo realizado trajeto semelhante a forma do número oito.

Os arcos lombocostais mediais (ligamentos arqueados mediais), de concavidade inferior, são espessamentos da lâmina anterior da fáscia toracolombar, sobre as partes

superiores dos músculos psoas maiores. Tem como origem a borda lateral do corpo da vértebra L2, estendendo-se até o processo transverso da vértebra L1 homolateral.

Os arcos lombocostais laterais (ligamentos arqueados laterais), de concavidade inferior, são espessamentos da lâmina anterior da fáscia toracolombar, sobre as partes superiores dos músculos quadrado lombares. Tem como origem o processo transverso da vértebra L1, estendendo-se até a 12ª costela homolateral.

Entre a porção diafragmática costal e o ligamento arqueado lateral, de cada lado, existe uma região diafragmática fina, que é preenchida por membrana, sendo chamada de trígono vertebrocostal (trígono lombocostal). Nesta região pode-se formar uma brecha, com o nome de hiato costolombar de Henlé (forame de Bochdalek), que favoreceria a comunicação dos tecidos adiposos subpleural e renal posterior.

O centro tendíneo do diafragma não possui inserções ósseas, e se apresenta como uma folha de trevo, estando a ponta da folha anterior apontando para o processo xifóide. As folhas laterais tem forma de língua, e a folha anterior forma de um triângulo equilátero. A folha lateral direita é a maior, a folha anterior tem tamanho intermediário e a folha lateral esquerda é a menor. O forame da veia cava inferior se situa na junção posterior das folhas direita e anterior, estando localizado ao nível do disco intervertebral entre as vértebras T8 e T9, 2 a 3cm à direita do plano mediano.

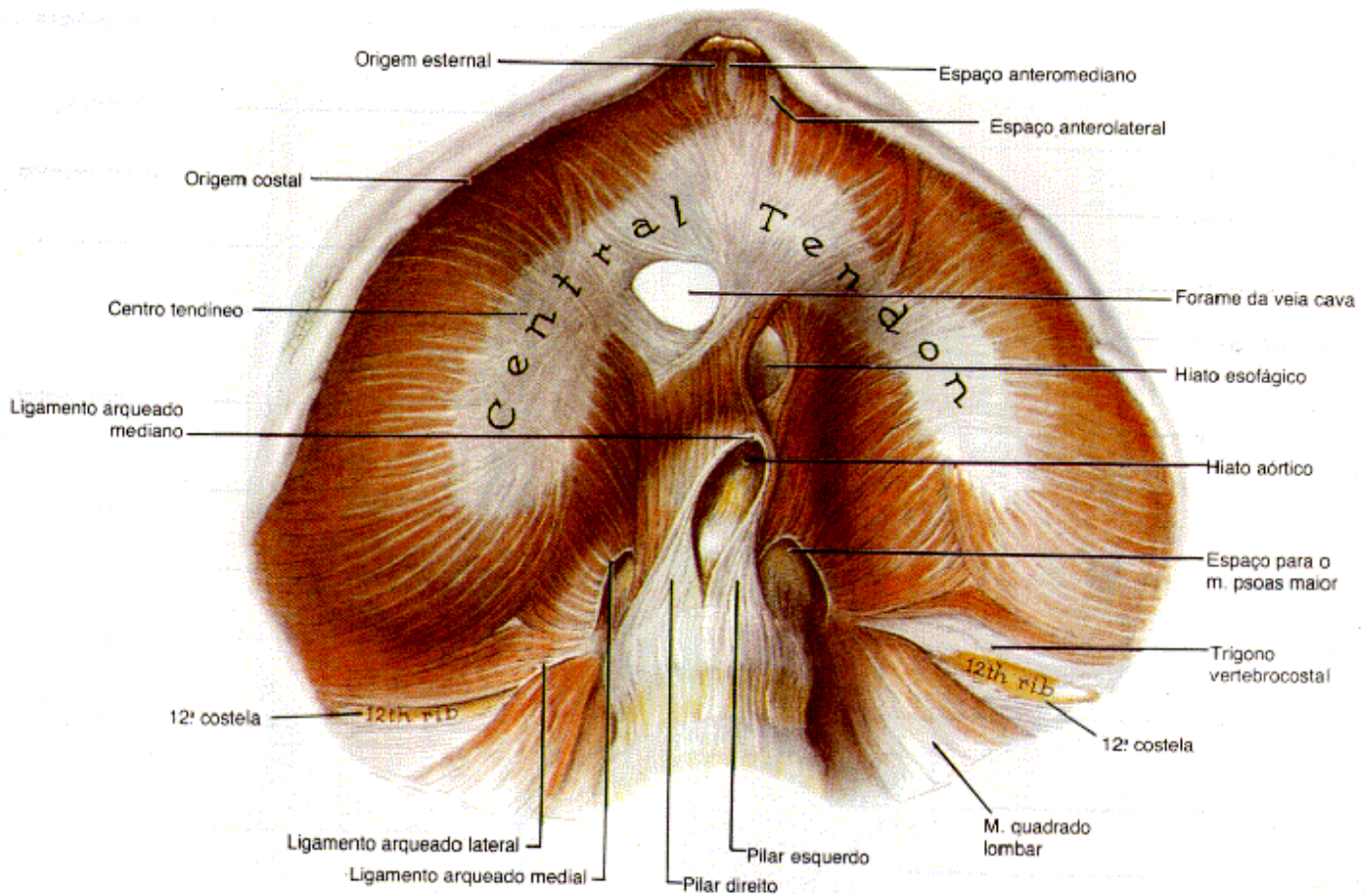


Figura 01 – morfologia diafragmática

3. VASCULARIZAÇÃO

O suprimento arterial da face superior do diafragma é dado através das artérias frênicas superiores, que tem origem na aorta torácica, e de ramos da artéria torácica interna, artérias musculofrênica e pericardiofrênica. A face inferior do diafragma é suprida por ramos provenientes das artérias frênicas inferiores, ramos da aorta abdominal.

Recentes trabalhos mostraram que existe uma rica rede anastomótica entre estes vasos. A artéria torácica interna e as artérias frênicas tem anastomoses que formam um círculo arterial ao redor do centro tendíneo. Ramos colaterais deste círculo viajam entre as fibras diafragmáticas, ligando-se a artérias intercostais, formando arcadas costofrênicas. A natureza destas conexões pode ajudar a compreender a manutenção do suprimento sanguíneo para este músculo, na ocorrência de oclusão ou compressão de alguns vasos.

Estas extensas anastomoses também podem responder pela observação experimental que o suprimento diafragmático costal permanece constante durante oclusão das frênicas inferiores ou da torácica interna. Nestas condições, o suprimento arterial remanescente não ocluído (as intercostais e torácica interna no caso de oclusão das frênicas e as intercostais e as frênicas inferiores no caso de oclusão da artéria torácica interna) parece aumentar para compensar a perda de fluxo conseguida pela oclusão (figura 02).

Estes achados também explicam porque o infarto diafragmático não é encontrado clinicamente, visto que a obstrução destas três fontes arteriais seria necessária.

Sob o ponto de vista microscópico, o padrão de ramificação das pequenas artérias, arteríolas, e capilares diafragmáticos é o mesmo de dois outros músculos esqueléticos (tríceps e intercostais), sugerindo que este padrão é o mesmo do restante da musculatura esquelética.

Um dos mais importantes determinantes do fluxo sanguíneo para a musculatura respiratória é o nível de pressão de perfusão arterial. Em geral, aumentos na pressão de perfusão aumentam o fluxo e reduções na perfusão reduzem o fluxo. Este fator é influenciado pelo nível de atividade metabólica (stress metabólico) diafragmático.

Outro fator importante no fluxo sanguíneo para a musculatura respiratória é a atividade contrátil deste músculo. Estudos na musculatura esquelética dos membros demonstram que o desenvolvimento de tensão muscular provoca dois efeitos antagônicos no músculo: primeiro, a atividade metabólica muscular aumentada resultante da contração leva a liberação de substâncias vasoativas que relaxam o músculo liso vascular, levando a uma redução na resistência vascular e um aumento no fluxo sanguíneo; em segundo lugar, o desenvolvimento de tensão leva a compressão dos vasos intramusculares, ocasionando aumento na resistência vascular e diminuição do fluxo sanguíneo.

Recentes estudos tem sugerido que estes dois efeitos opostos funcionam no diafragma de maneira similar ao que ocorre na musculatura dos membros. Sob moderados níveis de tensão, o efeito compressivo é uma função da magnitude e duração da tensão desenvolvida. Em níveis extremamente altos de tensão desenvolvida, o fluxo sanguíneo diafragmático para de entrar durante a contração muscular, com o nível de fluxo sanguíneo dependendo da duração do relaxamento diafragmático.

Em geral, o fluxo sanguíneo aumenta em maior grau quando a respiração é estimulada pela carga resistiva respiratória do que quando a atividade respiratória aumenta em decorrência da resposta ao dióxido de carbono inalado. Também o fluxo diafragmático parece aumentar em grau proporcionalmente maior do que o de outros músculos inspiratórios para um mesmo estímulo.

O suprimento venoso da face superior do diafragma é dado através das veias musculofrênica e pericardiofrênica, que desembocam nas veias torácicas internas. As veias frênicas inferiores, que drenam a face inferior do diafragma desembocam na veia cava superior, quando direita, ou na veia supra-renal esquerda, quando esquerda. Algumas veias da curvatura posterior diafragmática drenam para as veias ázigos e hemiázigos.

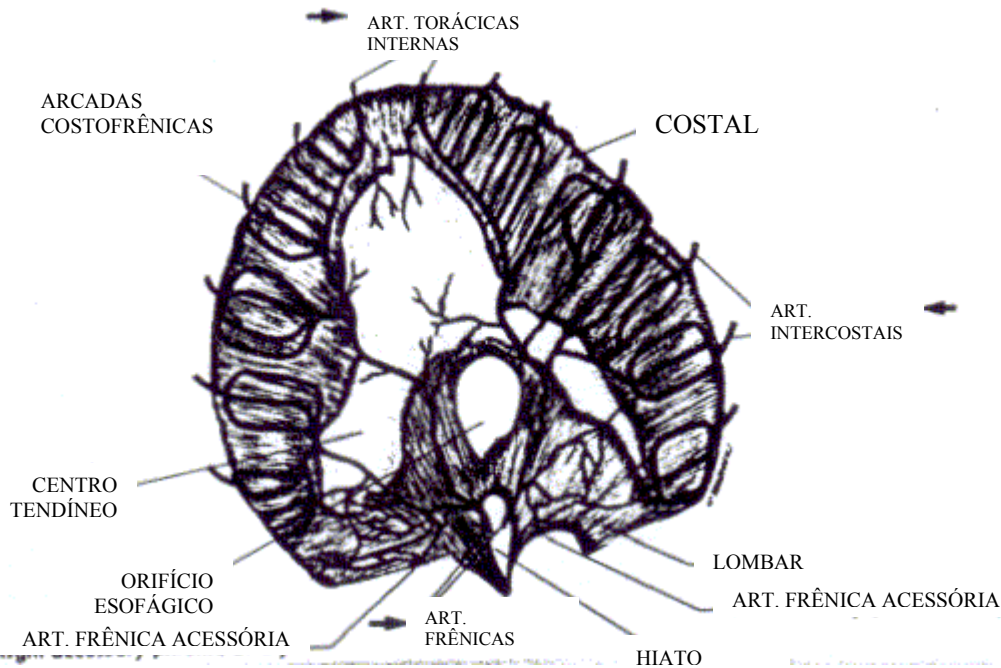


Figura 02 – A vascularização arterial diafragmática

4. INERVAÇÃO

A inervação da musculatura diafragmática é dada pelo nervo frênico, que se origina dos ramos ventrais dos segmentos C3 a C5, e é responsável por todo o suprimento motor, além de fibras sensitivas para dor e propriocepção para a maior parte do músculo, sendo o restante periférico suprido pelos seis ou sete nervos intercostais posteriores e nervo subcostal.

Através de estudos com diafragma de gato, demonstrou-se a organização somática do nervo frênico. As regiões esterno-costais e ventro-lombares do diafragma são inervadas pela raiz ventral de C5, enquanto que as porções dorso-costais e dorso-lombares são inervadas por axônios da raiz ventral de C6 (figura 03).

Este padrão de inervação também se estende para as unidades de fibras musculares. Fibras pertencendo a uma unidade motora inervada por um axônio de C5 não estão distribuídas uniformemente pelo diafragma; sua distribuição espacial é restrita dentro de uma única região (somente a região costal ou lombar). Em adição, dentro de uma mesma região diafragmática, a distribuição espacial das unidades de fibras musculares é restrita, usualmente a uma área representando 25% do total inervado por C5. Então, alguns axônios motores da raiz ventral de C5 inervam fibras musculares localizadas somente na região esterno-costal do diafragma.

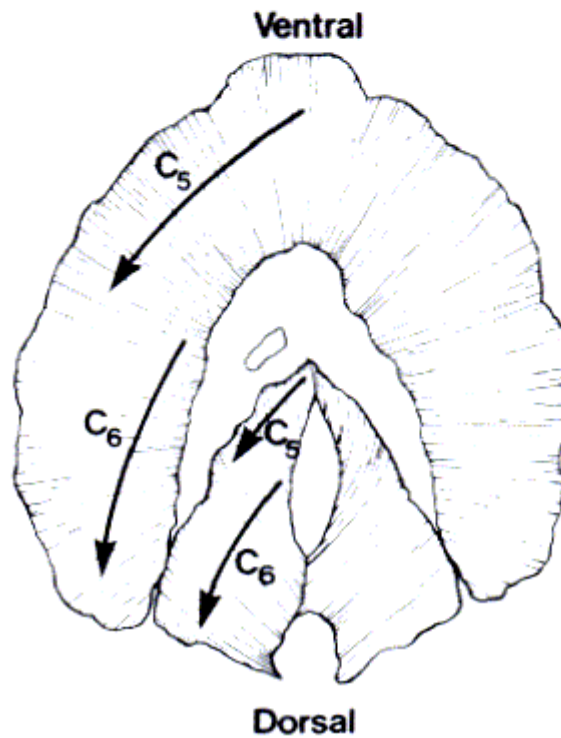
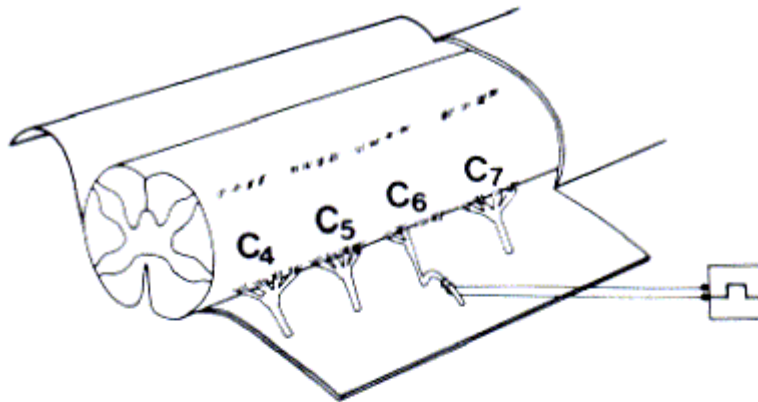


Figura 03 – A organização somática da inervação segmentar do diafragma do gato.

5. AÇÃO DIAFRAGMÁTICA

Durante a inspiração, as costelas mais inferiores são fixadas, ocorrendo a contração das fibras musculares e tração do tendão central para baixo e para frente. Neste movimento, a curvatura do diafragma é pouco alterada na sua curvatura, movendo-se para baixo paralelamente a sua posição original, impelindo em sua frente as vísceras abdominais. A descida destas vísceras só ocorre devido a mobilidade da parede abdominal, e seu limite de distensibilidade é logo alcançado. O tendão central, aplicado às vísceras abdominais, torna-se então um ponto fixo no diafragma, que age elevando as costelas inferiores, através

destas impelindo para frente o corpo do esterno e as costelas superiores. A cúpula direita do diafragma, situada sobre o fígado, tem uma resistência maior a vencer do que o esquerdo, mas em compensação o pilar direito e as fibras do lado direito são geralmente mais fortes que as do esquerdo. O equilíbrio entre descida do diafragma e a protusão da parede abdominal (“respiração abdominal”) e a elevação das costelas (“respiração torácica”) varia nos diferentes indivíduos e com a profundidade da respiração. O elemento torácico é geralmente mais acentuado nas mulheres, e na inspiração profunda, nos dois sexos.

O nível do diafragma varia continuamente durante a respiração, sendo afetado pelo grau de distensão do estômago e intestinos e pelo tamanho do fígado. Após uma expiração forçada, a cúpula direita fica, anteriormente, ao nível da quarta cartilagem costal; lateralmente, ao nível da 5^a, 6^a e 7^a costelas, e posteriormente ao nível da 8^a costela; a cúpula esquerda fica um pouco mais abaixo. A excursão do diafragma é de cerca de 1,5cm durante a respiração normal, enquanto que na respiração profunda varia entre 6 a 10cm.

A postura também altera a posição diafragmática. É mais alto quando o corpo se encontra em decúbito dorsal, exercendo aqui suas maiores excursões respiratórias. Na posição ereta a cúpula diafragmática é mais baixa, sendo menores seus movimentos respiratórios. A cúpula fica mais baixa ainda quando a pessoa se encontra sentada, nesta condição tendo o diafragma sua menor amplitude de movimento. Quando o corpo está em decúbito lateral, a cúpula diafragmática mais alta desce a um nível mais baixo do que na posição sentada, movendo-se pouco com a respiração; a metade mais baixa eleva-se mais alto no tórax que no decúbito dorsal, sendo suas excursões respiratórias aumentadas.

A posição do diafragma é então dependente de três fatores principais: a retração elástica do tecido pulmonar, que tende a tracioná-lo para cima; a pressão exercida de baixo pelas vísceras: negativa quando o paciente está de pé, e positiva quando está deitado; a pressão intra-abdominal, devida aos músculos abdominais. Estes encontram-se contraídos na posição supina, mas não quando sentado; daí o diafragma ser impelido para cima, mais alto, na primeira posição.

Recentes trabalhos experimentais e teóricos tem mostrado que a ação inspiratória diafragmática sobre o tórax possui dois componentes.

O primeiro é devido ao fato do diafragma possuir uma área em contato direto com a parede torácica, deviado a sua cúpula. Isto faz com que a porção inferior do tórax, na verdade, aja como a musculatura abdominal. Medidas em cachorros estabeleceram que, durante a respiração, as variações de pressão no recesso costodiafragmático são iguais a variações da cavidade abdominal. Este componente de ação diafragmático tem sido chamado de “aposicional”(justaposta), e sua magnitude depende do tamanho da zona de aposição e da quantidade de aumento na pressão intra-abdominal. Então, para uma determinada contração diafragmática, a força de aposição será maior quanto mais aumentados a zona de aposição e a pressão abdominal (figura 04 e 05).

O segundo componente da ação inspiratória do músculo diafragma é ligado ao fato de que suas fibras musculares estão inseridas nas costelas inferiores. Quando o diafragma contrai, exerce uma força através de suas fibras musculares, as quais estão justapostas às costelas, originando uma força no sentido cranial, que realiza elevação e rotação externa das costelas inferiores (figura 06). Este componente de ação diafragmática é então chamado “de inserção”. É importante ressaltar que, para este mecanismo funcionar, as fibras diafragmáticas musculares atuantes necessitam encontrar-se orientadas cranialmente, e algumas estruturas tem que se opor a descida da cúpula diafragmática. Sem estas estruturas,

a cúpula desceria excessivamente, a área de aposição iria desaparecer e as fibras musculares ficariam orientadas transversalmente .

A massa visceral abdominal oferece uma sólida sustentação para a cúpula diafragmática, sendo o determinante primário da ação diafragmática sobre o tórax. Se o abdome é complacente, a cúpula diafragmática descerá muito facilmente durante a inspiração, acarretando uma diminuição da zona de aposição e uma pequena pressão intra-abdominal. Ao contrário, se a complacência abdominal é pequena, a cúpula diafragmática não descerá excessivamente, originando uma pressão intra-abdominal maior e a manutenção da zona de aposição, aumentando assim os componentes de inserção e aposição inspiratórios diafragmáticos.

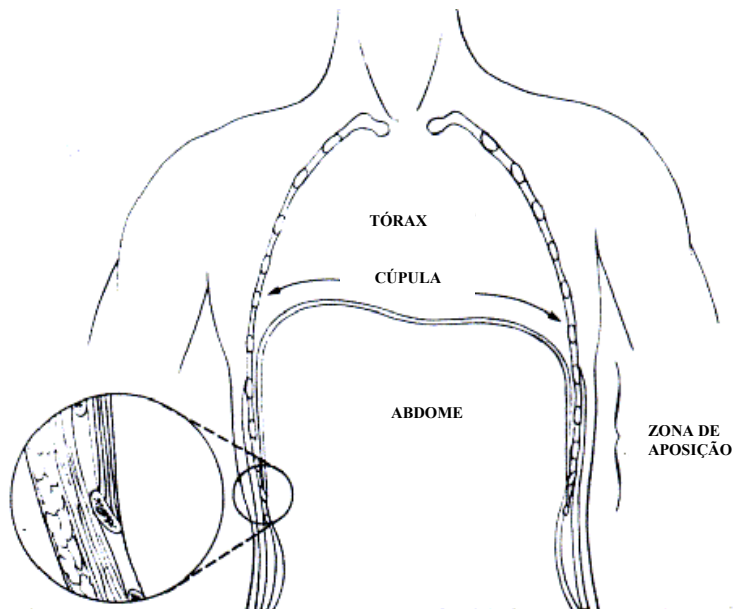


Figura 04 – secção frontal da parede torácica ao final da expiração; note a direção das fibras costais diafragmáticas, na zona de aposição.

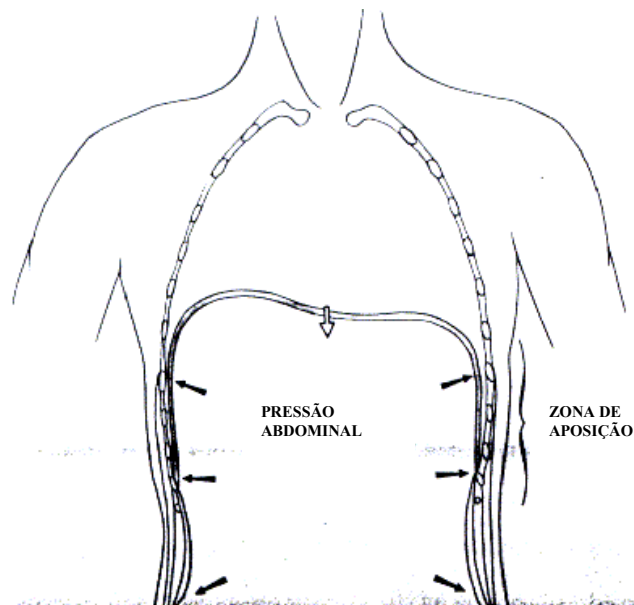


Figura 05 – ação diafragmática do componente aposicional

Deve-se observar que este componente de inserção age somente na porção costal da musculatura diafragmática. A porção lombar não possui inserções diretas nas costelas, sendo sua ação dependente do balanço entre o componente aposicional e o efeito expiratório da pressão pleural. Como resultado, quando seletivamente estimulado, o diafragma lombar oferece uma inspiração torácica menor do que a porção costal.

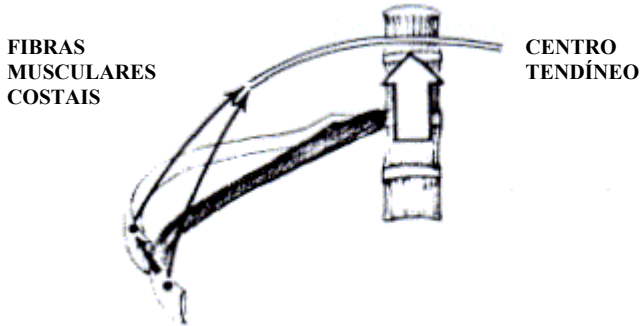


Figura 06 – componente de inserção diafragmático

A ação do diafragma sobre a caixa torácica é afetada profundamente pelas variações de volume pulmonar. Quando o volume pulmonar diminui, a área de aposição aumenta, resultando no aumento da ação inspiratória diafragmática. Ao contrário, quando o volume pulmonar encontra-se aumentado, a área de aposição diminui, levando a uma menor ação inspiratória.

Quando o pulmão alcança sua capacidade total, a área de aposição desaparece. As fibras musculares costais tornam-se orientadas transversalmente, suprimindo o componente aposicional e tornando o componente de inserção expiratório. Estes fatos explicam a orientação para dentro da borda costal lateral observada em pacientes com hiperinsuflação severa (sinal de Hoover's)(figura 07).

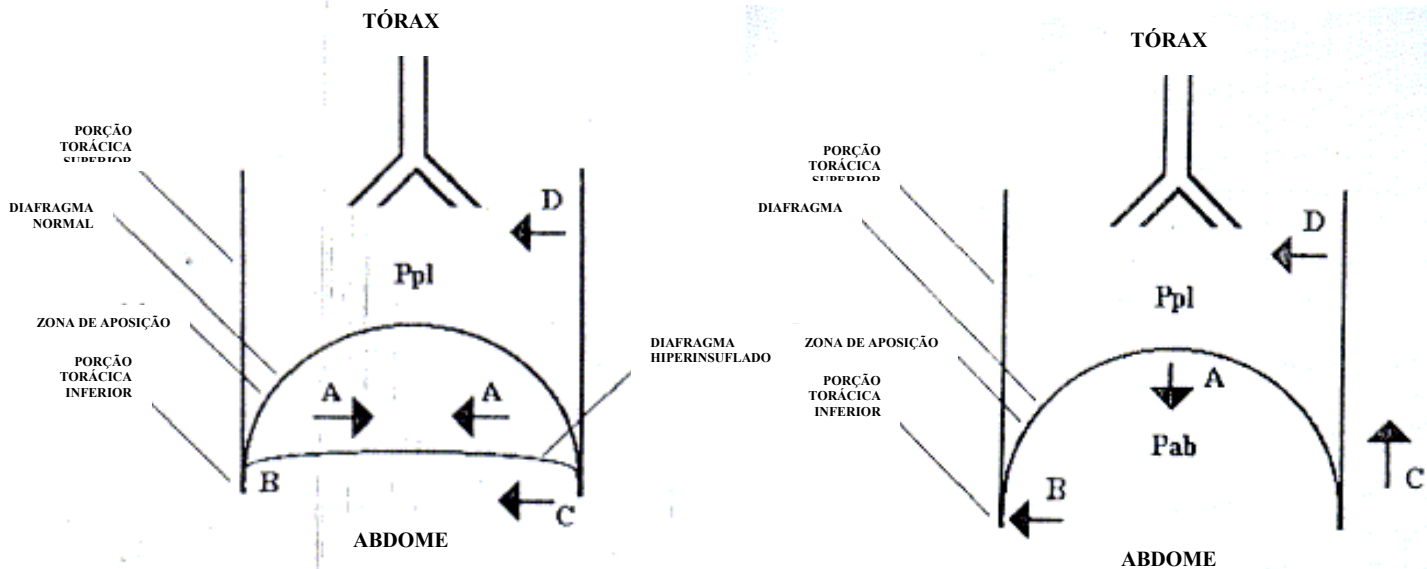


Figura 07- ação diafragmática normal a direita e ação do diafragma na hiperinsuflação a esquerda .A – movimento diafragmático; B- componente aposicional; C-componente de inserção; D-efeito expiratório; Ppl – pressão negativa pleural; Pab- pressão abdominal.