

Da Dinâmica Da Caixa Torácica

Estudo Cinesiológico Dos Movimentos Respiratórios

Pelo Capitão Dr. AUREO MORAIS
Prof. Catedr. Interino de Cinesio-
logia da Escola Nacional de Educa-
ção Física e Desportos da Universi-
dade do Brasil, e ex-instrutor de
Cinesiologia da Escola de Educa-
ção Física do Exército Brasileiro.

A respiração pulmonar dos animais superiores se faz a custa das modificações de forma da caixa torácica, por ação reflexa ou voluntária, ora ampliando os seus três diâmetros, do que resulta uma depressão intra-pulmonar, de pronto equilibrada pela pressão atmosférica, com a entrada de ar até os alvéolos; ora retraindo esses diâmetros, do que resultam fenômenos inversos. Esses movimentos — inspiração e expiração — podem ter normalmente amplitudes muito variadas: desde os movimentos respiratórios durante o sono, em que a ventilação pulmonar se reduz ao mínimo, até os amplos flexionamentos da caixa torácica, em que a ventilação é máxima.

Indubitavelmente, esses movimentos são feitos a expensas de trabalho muscular, quer diretamente por ação de músculos sobre ossos, movendo-os, quer indiretamente por ação de corpos não musculares, cuja força elástica restitue o trabalho a eles fornecido pelos músculos.

Noções Anatômicas

A caixa torácica tem como esqueleto uma gaiola óssea com duas colunas: — uma de sustentação, posteriormente situada em seu plano de simetria — a coluna vertebral dorsal, praticamente imóvel em relação às costelas, mas um pouco deformável por flexão, deflexão ou torção; e uma outra coluna de ligação de costelas, anteriormente situada — o esterno, praticamente indeformável nos movimentos normais, mas limitadamente móvel em todas as direções no seu plano de simetria.

Essas duas colunas, anatômica e funcionalmente diferentes, são unidas lateralmente por 10 pares de costelas — lâminas ósseas arqueadas, de tecido esponjoso, revestidas perifericamente por tênue camada de tecido compacto e terminada na frente por uma fibra-cartilagem, de forma externa análoga — a cartilagem costal.

As costelas se ligam à coluna dorsal por meio de articulações denominadas artrodias. Mais duas costelas — as flutuantes — se articulam com a coluna vertebral, mas sem ligação anterior.

Também por artrodias, as sete primeiras costelas se articulam com o esterno, por meio de suas respectivas cartilagens costais, que são tanto mais longas e mais curvas, quanto mais baixa é a costela.

A cartilagem da oitava termina na sétima; a da nona, na da oitava; a da décima, na da nona, dando a impressão de uma cartilagem única em forma de pente, que ligasse estas quatro costelas ao esterno.

As costelas não têm nomes próprios, mas apenas um número de ordem, a contar da parte superior do tórax. As que se ligam diretamente ao esterno são denominadas "verdadeiras" — as primeiras sete. Seu comprimento linear, os raios de suas curvaturas, sua deformabilidade e sua mobilidade crescem com o número de ordem, sem que haja nisso uma proporcionalidade. A 8.^a, a 9.^a e a 10.^a são chamadas "falsas", talvez por terem uma falsa ligação com o esterno. Seus atributos acima referidos para as outras são mais ou menos iguais.

A posição das costelas no tórax é de uma dupla obliquidade: — uma sagital, em que a extremidade anterior fica mais baixa que a posterior; e outra transversal, em que a parte média do arco fica mais baixa que as extremidades (em relação ao plano oblíquo já visto). Essas obliquidades se acentuam com o número de ordem.

Essa gaiola óssea articulada por músculos, formando assim a "caixa torácica". Entre cada duas costelas consecutivas, há três músculos curtos e largos, de fibras paralelas e oblíquas em relação aos arcos costais, conforme se vê na figura 5, tirada esquematicamente da Anatomia Descritiva de Testut-Latarjet:

— Um, situado externamente — o intercostal externo, cujas fibras veem descendo para frente; seus feixes mais posteriores estão próximos às vértebras e seu limite anterior coincide mais ou menos com o ângulo costal anterior, não chegando à cartilagem costal.

— Outro, o intercostal médio, cujas fibras veem subindo para frente (obliquidade inversa da dos externos); seu limite posterior está longe das vértebras, coincidindo mais ou menos com o ângulo costal posterior, e anteriormente este músculo vem até o esterno.

— O terceiro, o intercostal interno, o mais estreito de todos, cujas fibras têm a mesma obliquidade do intercostal médio. Seu limite posterior está pouco para trás do limite do médio, e o anterior coincide mais ou menos com o anterior do intercostal externo. Este intercostal interno, dada a sua situação e a direção de suas fibras, é apenas um músculo acessório do intercostal médio; é apenas um reforço do médio na parte central da costela.

Por isto, consideraremos funcionalmente somente dois músculos em cada espaço intercostal: — o intercostal externo, como sendo um, e o conjunto médio e interno, como sendo outro, sob a denominação comum de "intercostal interno".

A base da caixa torácica é fechada por um músculo laminar, radiado, em cúpula, denominado diafragma. A radiação de suas fibras parte de um

centro tendinoso em forma de trevo — chamado frênico — daí se dirigindo para a periferia, em todas as direções.

Superiormente, o espaço entre as primeiras costelas não é fechado por músculos. Ali passam a traqueia, o esôfago, grossos vasos sanguíneos, nervos importantes, etc.

Além dos citados músculos, que são intrinsecamente torácicos, dá o tórax inserção a numerosos outros, como por exemplo os torácicos extrínsecos (grande e pequeno peitorais na frente, grande dentado póstero-lateralmente, e dois pequenos dentados posteriores — o superior e o inferior); os abdominais ântero-laterais (reto anterior, grande e pequeno oblíquos e transversos); alguns dorsais (ilíaco-costal e grande dorsal); alguns do pescoço (esterno-clídeo-mastoideu, dois tireóideos, escalenos); e mais o quadrado lombar.

AÇÕES MUSCULARES

Feita esta sumária revisão anatômica, passemos às ações musculares nos movimentos respiratórios.

Os livros estrangeiros de anatomia, de fisiologia e cinesiologia não são concordantes neste assunto. Os nacionais contêm as mesmas dúvidas. Todos eles se limitam a transcrever opiniões de uns e de outros experimentadores, mas sem uma discussão mais acurada da interpretação das observações de uns, ou do raciocínio de outros.

Estas discordâncias, que chegam ao extremo de ser antagônicas, se referem às ações inspiratórias. Quanto à expiração, o acordo é quase integral.

Em primeiro lugar, serão enumeradas as ações musculares nas diversas fases dos movimentos respiratórios e em seguida será feita a sua análise justificativa, em face das opiniões divergentes.

Inspiração

Impõe-se aqui uma divisão quanto à amplitude do movimento, porque as ações não são bem iguais. Durante o sono, a amplitude inspiratória é mínima e nos fortes trabalhos físicos ou nos flexionamentos da caixa torácica essa amplitude é máxima. A primeira, chamaremos "inspiração tranquila" e a segunda "inspiração forçada", conforme a nomenclatura clássica. São dois movimentos sensivelmente diferentes, mas, apesar disto, não há um limite entre eles. A respiração tranquila no estado de vigília, em repouso deitado, é mais ampla que durante o sono; na posição de pé em repouso é mais ampla que em decúbito; em marcha lenta, ainda mais ampla; da

marcha comum à marcha apressada, da corrida lenta à corrida rápida, a amplitude respiratória vai crescendo mais ou menos com a intensidade do trabalho despendido, passa de inspiração tranquila a ampla, de ampla a forçada, sem um limite definido. As ações musculares vão gradativamente se modificando, sem que haja fases nítidas que permitam uma delimitação de amplitude.

A inspiração tranquila se faz a custa do diafragma e dos intercostais, músculos intrinsecamente torácicos e de capital importância.

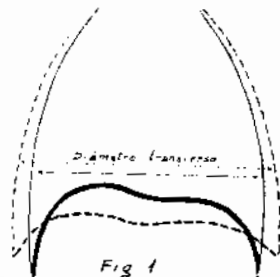


Fig 1

A inspiração mais ampla se faz por ação desses mesmos músculos, tomando os intercostais um papel mais saliente.

A proporção que a amplitude vai crescendo, vão entrando em jogo o grande dentado (músculo por excelência da grande inspiração), o pequeno peitoral, o esterno-clídeo-mastóideu. O movimento de espáduas para trás e para cima, feito pelo trapézio, romboide e angular, dão melhores condições de ação ao grande dentado e ao pequeno peitoral, por

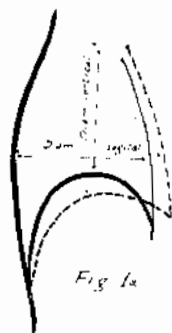


Fig 1a

um maior alongamento e uma maior obliquidade de suas fibras em relação às costelas. Assim, estes músculos dorsais, não sendo diretamente inspiradores, o são indiretamente, como alongadores dos outros. O movimento da cabeça ligeiramente para trás, feito pelos músculos da nuca, importa em alongamento do esterno-clídeo-mastóideu, favorecendo-lhe a ação sobre o esterno. A ação dos escalenos, tentando elevar as primeiras costelas, favorece a ação dos intercostais. Os músculos das goteiras vertebrais são auxiliares da inspiração, por produzirem uma deflexão da coluna dorsal e consequente elevação indireta das costelas. A ação do pequeno dentado posterior e superior, bem como dos feixes costais do grande dorsal é sem importância.

O grande peitoral não é inspirador, com a posição de braços para baixo; mas na posição oblíqua de elevação para trás, ele entra com um coeficiente um tanto apreciável na inspiração. Nesta posição de braços, os feixes costais do grande dorsal podem exercer uma ação um pouquinho melhor.

Inspiradores principais e acessórios

Todas estas ações descritas, exceto as dos intercostais e do diafragma são suplementares e de importância secundária, visto só entrarem em jogo, depois do torax já estar em acentuada amplitude de dilatação.

Em dezenas de experiências que fizemos há alguns anos atrás na Escola de Educação Física do Exército, todas concordantes, ficou demonstrada a afirmação acima. Medimos muitas vezes, em cada examinando, a capacidade vital tomada de dois modos diferentes: — um, o clássico, em que o paciente dilatava ao máximo a sua caixa torácica, auxiliando a dilatação com os movimentos de espáduas e de braços para cima e para trás, estendendo o tronco e a cabeça, para soprar no espirômetro, auxiliando a retração do torax com os movimentos inversos de espáduas, braços, tronco e cabeça; — o outro modo consistiu em dilatar a caixa torácica com os movimentos acessó-

rios contrários à inspiração: espáduas e braços abaixo e à frente, flexão da cabeça e do tronco: soprando em seguida no espirômetro, com os movimentos acessórios de inspiração.

A capacidade vital pelo processo clássico excedeu sempre, e sem uma única exceção, a obtida pelo segundo processo, conforme era de se esperar. Mas o excesso não foi tão grande como era de se supor.

Encontramos diferença de 100 a 300 cc. em capacidades vitais em torno de 4 litros; diferenças de 150 a 400 cc. em capacidades vitais próximas de 5 litros. O número de observações não foi suficiente para se estabelecer a porcentagem média exata da diferença em face da capacidade vital média. Nem essa foi a finalidade da observação.

Em nenhum caso, porém, essa diferença ultrapassou de 10% do valor da capacidade vital. A finalidade visada era a demonstração da pouca importância inspiradora desses mús-

culos acessórios. Se não podemos afirmar ainda o valor médio exato dessa importância, podemos, entretanto, dizer que não atinge a 10%. E assim, os intercostais e o diafragma são colocados em seu lugar próprio de inspiradores por excelência, com cerca de 90 por cento de influência na inspiração.

O Diafragma na inspiração forçada

Nas inspirações forçadas, o papel do diafragma é variável, conforme a velocidade do movimento.

Se a dilatação máxima da caixa óssea se faz lentamente, com ou sem auxílio dos acessórios, a cúpula do diafragma vem baixando gradativamente, aumentando o diâmetro vertical, em concomitância com o aumento dos horizontais. Isto se verifica facilmente nas radioscopias, ou mais simplesmente, observando a dilatação abdominal que acompanha a torácica.

Se a inspiração é feita violentamente, observa-se uma brusca depressão intratorácica por ação dos inspiradores superiores, que acarreta o diafragma para cima, por efeito da pressão intra-abdominal. Uma vez penetrado o ar pelas vias aéreas, quando as pressões torácica e abdominal estão próximo de equilibrar-se, já quase no final da inspiração, entra, então, em ação o diafragma, calcando as vísceras para baixo.

Em inúmeras radioscopias que observamos, feitas pelo então Capitão Dr. Francisco R. Oliveira, na E. E. F. Exército, pudemos averiguar o fenômeno descrito. Posteriormente, em centenas de radioscopias que fez também na E. E. F. E., o Prof. Pio da Rocha verificou a exatidão do exposto. Mas mesmo sem o recurso dos raios X se pode demonstrar o movimento contrário do diafragma nas primeiras fases da inspiração violenta. Basta observar que o ventre do indivíduo que inspira com rapidez se retrai notavelmente, voltando a dilatar-se, quando a ampliação torácica já se completou.

Os intercostais como inspiradores

É comum se ver nos livros clássicos que a inspiração tranquila se faz somente a custa do diafragma. Um ligeiro raciocínio demonstra que não pode ser. Se o diafragma é uma cúpula que se insere em torno da base do torax, quando se contrai, tende a aproximar-se da forma plana, baixando as vísceras, ao mesmo tempo que impele toda a base do torax para o centro frênico, tendendo a diminuir os diâmetros horizontais dessa base. O abaixamento da cúpula é um fato indiscutível; mas a redução dos diâmetros da base torácica não se dá. Muito ao contrário, há aumento de ambos os horizontais, com elevação sensível das costelas inferiores; e esta ação não pode ser exercida pelo diafragma. Exercem-na os intercostais. Na inspiração tranquila, nenhuma contração se percebe por parte do grande dentado nas suas digitações inferiores, que são as mais acessíveis, e muito menos por parte do esterno-cíldo, do pequeno ou do grande pectoral, que não teriam ação sobre as falsas costelas.

Divergências a propósito dos intercostais

Até aqui, temos nos referido aos internos e externos, como músculos sinérgicos na inspiração. Isto virá escandalizar a algum clássico que porventura venha a ter conhecimento deste modesto escrito, publicado em uma revista técnica brasileira.

No século II, Galeno foi de opinião que os intercostais superiores, internos e externos, eram inspiradores e que os inferiores eram expiradores. Por mais de 12 séculos, prevaleceu esta hipótese. No século XVI, Vesalius deu todos os intercostais como expiradores. Aranzi achou que estes músculos não tinham qualquer função respiratória: eram simples membranas destinadas a ocupar os espaços intercostais. Helmont concordou. E modernamente, L. Testut e seu sucessor na cátedra aceitaram como boa esta hipótese. É uma opinião inaceitável, visto como um músculo que não trabalha tende a desaparecer. Neste caso, os intercostais se transformariam em simples aponevroses conjuntivas, o que efetivamente não acontece.

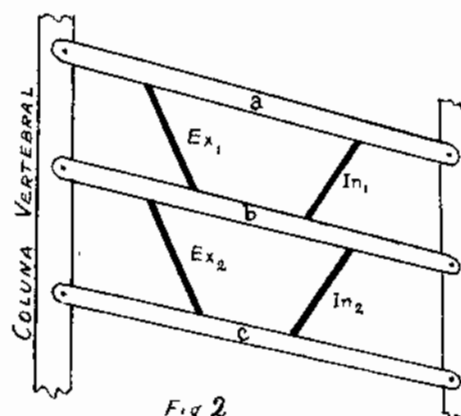
Para Magendie e Cruvelhier, os intercostais seriam indistintamente inspiradores e expiradores, o que não é admissível, uma vez que cada músculo só exerce sua ação por tração e nunca por compressão.

Para Bartholin, pai e filho, seriam os internos inspiradores, e os externos expiradores. No século XVIII, Hamberger, de Jena, fez uma demonstração matemática a propósito destas ações, provando exatamente o contrário da afirmação dos Bartholins. Esta demonstração, apoiada no prestígio e no respeito que impõem as provas matemáticas, ganhou numerosos adeptos de nomeada, desde aquela época até hoje, e sua opinião seria a clássica e a única sobrevivente, se fisiologistas e experimentadores notáveis, como Borelli, Haller, Cuvier, Winslow e Duchenne não tivessem trazido provas experimentais contrárias à prova matemática de Hamberger.

Formaram-se, então, dois partidos: um, o de Hamberger, o do acato à matemática; outro, o de Duchenne, da crença na experimentação fisiológica. De passagem, devemos assinalar que não encontramos nas experiências de Duchenne falhas de interpretação que pudessem de leve diminuir o valor de suas conclusões, de serem ambos os intercostais inspiradores. Desconhecemos se algum autor já se insurgiu matematicamente contra a demonstração de Hamberger, pois já há cerca de 200 anos que este fisiologista fez a sua comprovação, que goza de um incontestável prestígio até hoje — o prestígio das provas matemáticas.

A demonstração de Hamberger, que se encontra estampada em quase todos os livros clássicos de anatomia e de fisiologia; se resume no seguinte, conforme a figura 2. A haste vertical mais larga seria a coluna vertebral, à qual estariam articuladas as costelas a, b e c. As fibras musculares Ex_1 , Ex_2 , In_1 , In_2 , etc., condensariam em si os músculos intercostais externo e interno, com as suas obliquidades correspondentes, à posição real dos músculos. A obliquidade dos externos dá a cada fibra uma inserção superior mais próxima à coluna do que a inferior. A força exercida

para baixo pela fibra Ex_1 na costela a seria a mesma que a exercida para cima por essa mesma fibra na



costela b. A força exercida para baixo pela fibra Ex_2 seria a mesma que a exercida para cima sobre a costela c. Sendo essas forças todas iguais, como forças de fibras iguais, seus pontos de aplicação não estão à mesma distância do eixo articular do movimento. Então, os momentos não são iguais. O momento para cima de Ex_1 em relação à articulação de b é maior que o de Ex_2 para baixo em relação ao mesmo eixo. Portanto, a costela b subirá quando Ex_1 e Ex_2 exercerem o mesmo esforço. O que sucederá com a costela b sucederá com todas as outras: elevação, por ação dos externos.

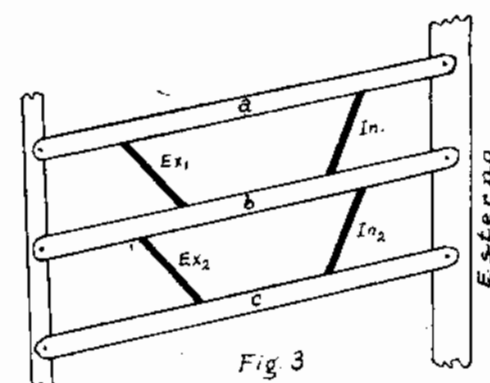
Com a obliquidade inversa de In_1 e In_2 , verificar-se-ia que os momentos abaixadores seriam maiores que os elevadores, e a costela baixaria por esforços iguais de In_1 e In_2 .

Ficaria assim matematicamente provado que os intercostais externos seriam inspiradores e os internos expiradores.

Não contestamos a demonstração acima. Ela é lógica e irrefutável. O que contestamos é a extensão disto feita à caixa torácica.

Vamos fazer uma outra. É tão lógica e tão irrefutável como a primeira. Só não é válida a extensão à caixa torácica. Mas os que aceitarem a demonstração de Hamberger se verão forçados a aceitar esta outra, que não tem autor, nem o prestígio de 200 anos de existência, mas se funda nos mesmos argumentos.

As costelas se articulam também com o esterno, não é verdade? As fibras dos intercostais se conservam paralelas em toda a extensão do espaço intercostal ocupado. Então, acompanhemos aqueles músculos da figura anterior até próximo do esterno. Teremos esta outra (fig. 3).



Agora, tudo é ao contrário. O momento elevador de Ex_1 em relação à articulação de b com o esterno é me-

nor que o momento abaixador de E_x , em relação ao mesmo eixo de movimento. Em igualdade de esforço de E_x e E_y , a costela b descenderia.

Caso inverso se dá com os momentos de I_n e I_o , em relação a bs o momento elevador é maior.

Ficaria, então, também matematicamente provado que os internos são inspiradores e que os externos são expiradores.

E' pena que esta demonstração não venha rotulada com um nome de prestígio, preferivelmente estrangeiro, para emprestar-lhe autoridade!

Tanto vale uma demonstração, como outra. As costelas não são tocos de ossos articulados com a coluna vertebral, ou com o esterno. São arcos inteiriços que veem de uma ao outro. As costelas não se movem em torno de pontos, mas de um eixo esterno-vertebral, de direção sagital.

E assim, oferecemos ao partido de Duchenne, Winslow, Borelli, Cuvier, Haller, Morris, Cunningham, Piersol e outros, um argumento matemático contra Hamberger, baseado em sua própria concepção, o que, por coerência, não pode deixar de ser aceito por seus partidários Martin, Hartwell, Gray, Spalteholz, Carlo Foà, Starling, Best, Taylor, Gley, Hédon, Boigey e tantos outros.

Deste modo, rue o velho edifício bissecular de Hamberger, solapado em suas próprias fundações!

E sobre estas ruínas, aproveitando o material, que é bom, construímos um novo edifício, com sólido alicerce. Aqui ficará o projeto.

A construção será a sanção dos grandes.

A fig. 4 mostra o esquema de um segmento de hemitorax, na situação real. As linhas interrompidas quase

o esterno, onde só existe o músculo interno.

No setor posterior, os momentos ascensionais das forças musculares E_1, E_2, E_3 , etc., em relação aos eixos xx', yy', zz' são maiores que os descensionais das forças iguais E_2, E_3, E_4 , etc., em relação aos mesmos eixos, dada a obliquidade das fibras. O momento resultante é, pois, ascensional e neste setor os intercostais externos são elevadores das costelas e, portanto, inspiradores.

No setor anterior, um raciocínio igual para as forças I_1, I_2, I_3, I_4 , dos intercostais internos e seus momentos em relação aos mesmos eixos xx', yy', zz' , mostram que o momento resultante é também ascensional. Neste setor, pois, os internos são elevadores das costelas e, portanto, também inspiradores.

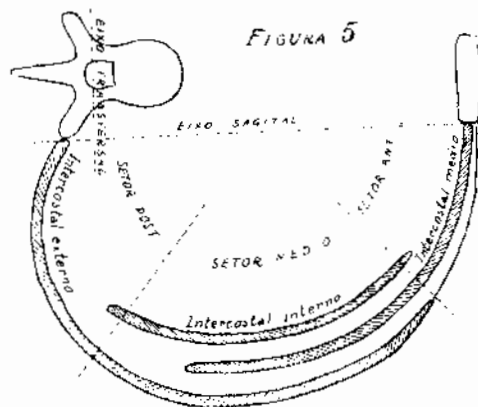
No setor médio, as direções das fibras se cruzam em X. No meio deste setor, as distâncias das inserções de cada fibra ao eixo são iguais, não havendo, por conseguinte, diferença entre os momentos das forças ascensionais e descensionais: sua soma algébrica é nula. As fibras que se afastam deste ponto médio para diante até o limite bb' terão em relação ao eixo de movimento, uma pequena diferença de momentos num sentido.

Em compensação, as fibras que se afastam do ponto médio para trás, até o limite aa' , terão, em relação ao eixo uma diferença de momentos em sentido oposto ao das anteriores: a soma algébrica dos momentos anteriores e posteriores continuará nula.

Assim sendo, as costelas funcionam como alavancas em seus setores anterior e posterior, onde só existe um músculo; mas não funcionam como alavanca em seu setor mé-

— ação inspiratória, por consequência.

E essa demonstração justifica plenamente por que motivo a Natureza não trouxe o intercostal externo até o osso esterno, não levou o intercostal médio até a coluna vertebral e colocou nó na parte média o intercostal acessório. Esta disposição



muscular não serve para o esquema de Hamberger.

Mas a Natureza é que está sempre certa!

Dissociação das ações

Se se dissociassem as ações dos internos e externos (internos de um lado, em conjunto, e externos do lado oposto, também em conjunto), o movimento feito seria o de torção do torax para o lado dos internos, tal qual se dá com o grande e pequeno oblíquos do abdômen. Tal movimento de torção não é observado, nem mesmo esporadicamente, o que mostra não ser possível essa dissociação, pelo menos a bilateral.

A oclusão da parede torácica

Se as ações conjuntas dos internos e externos são iguais, porque, então, existem duas obliquidades contrárias, se neste caso, cada força oblíqua se decompõe em uma componente normal, útil ao movimento, e em outra componente perdida, tangencial à costela?

Então, seria preferível, mais econômico, que todas as fibras indistintamente fossem perpendiculares às costelas. Sob este ponto de vista, seria melhor. Mas estes músculos, além destas ações, fazem também a oclusão dos espaços intercostais, para resistir às diferenças de pressões entre a atmosfera e a massa gasosa interna. Se os músculos fossem todos perpendiculares, a dissociação de suas fibras coincidiria em qualquer interstício e a caixa torácica seria vulnerável em qualquer ponto, mediante uma compressão ou depressão violentas. Com as fibras cruzadas, ficam desorientadas as dissociações dos feixes musculares, deixando assim de haver pontos vulneráveis.

Nos setores anterior e posterior onde só existe um músculo, há mais uma aponevrose conjuntiva de proteção.

As correntes de ação dos músculos — Um argumento pró-Hamberger

Brouk e Ferguson publicaram no "American Journal of Physiology", pg. 110, de 1935, uma experiência, na

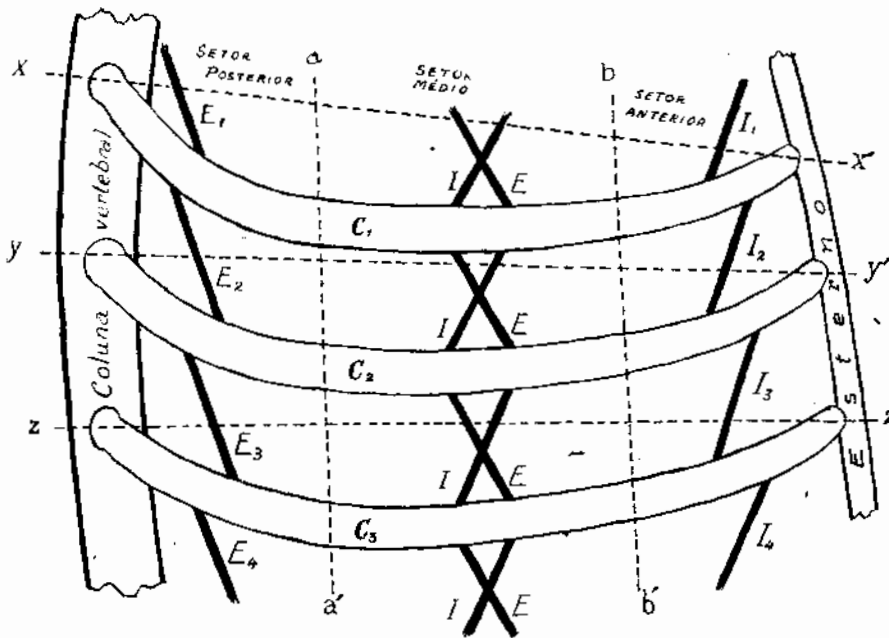


FIG. 4

horizontais xx', yy' e zz' representam os eixos esterno-vertebrais do movimento; a interrompida vertical aa' , o limite posterior do intercostal interno (conjunto médio-interno); a vertical bb' , o limite anterior do intercostal externo.

Deste modo, fica o arco costal dividido em três setores: o posterior, entre a coluna vertebral e a linha aa' , onde só existe o músculo externo; o médio, entre aa' e bb' , onde existem os 2; e o anterior, entre bb' e

o esterno, onde os momentos se acham equilibrados. No setor médio, o encurtamento das três camadas musculares faz apenas a aproximação das costelas em conjunto, o que importará necessariamente em elevação da parede torácica, visto a primeira costela ser fixa e serem as inferiores livres.

Fica assim demonstrado, à evidência, que a ação isolada de cada um dos intercostais, bem como a ação de conjunto, é de elevação das costelas

qual demonstram, por meio das correntes de ação muscular, serem inspiratórios os externos e expiratórios os internos. Esta experiência concorda plenamente com a feita por Martin e Hartwell, e ambas contradizem as de Duchenne e Winslow, que estão de acordo com a nova demonstração matemática exposta neste texto.

A verificação das ações musculares por meio das correntes elétricas geradas nos músculos em face dos estímulos (correntes de ação) tem tido larga expansão, além da eletrocardiografia, principalmente nos Estados Unidos, onde é copioso o material elétrico de precisão. É um processo valioso, dada a sua sensibilidade, e do qual se tem tirado conclusões notáveis.

Ficamos assim em face de um dilema. Não podemos depreciar os experimentos de Winslow e Duchenne, para aplaudir os de Martin, Hartwell, Brouk e Ferguson, nem menosprezar estes, para aceitar aqueles. Todos têm autoridade científica. Os argumentos são fatos consumados e não palavras vazias. E não se chega a um acordo, porque não se podem aceitar como verdadeiros dois fatos contraditórios.

Mas serão contraditórios mesmo? A nosso ver, não são contraditórios, nem concordantes: são apenas diferentes. A observação de que um homem é bípede não contradiz outra de que o cavalo é quadrúpede; mas também não confirma.

Martin e Hartwell, Brouk e Ferguson efetuaram as suas experiências em cães e gatos e chegaram a uma outra conclusão. Winslow e Duchenne fizeram experimentos em homens e chegaram a uma outra conclusão. Esta última é confirmada pela mecânica da caixa torácica humana. Os dois fatos podem, pois, sobreviver como verdadeiros, porque um não destrói o outro.

A contradição não reside nos fatos. Reside na extensão que se fez à espécie humana de uma observação feita em quadrúpedes. Estas extensões nem sempre são lícitas, mas são tão sutis, que muitas vezes escapam aos analisadores menos metuculosos.

São do conhecimento elementar de todo iniciante em fisiologia, as célebres experiências que Pavlov fez sobre as funções gástricas dos cães. As conclusões deste grande fisiologista foram extendidas ao estômago humano e aceita sem restrições, até que o estudo radiológico sobre o homem mostrou que, se o estômago canino funciona de um modo, o humano funciona de outro. São dois fatos não concordantes, nem contraditórios.

Em questões mecânicas, é preciso muito cuidado em se estender ao ho-

mem o que se passa com os quadrúpedes.

A estação normal do homem é vertical e a direção da gravidade coincide com o eixo longitudinal do corpo; suas vísceras, pelo peso, tendem para a excavação pélvica. Nos quadrúpedes, a direção da gravidade é mais ou menos perpendicular ao eixo do corpo e suas vísceras tendem para o esterno e a linha alba.

E serão só estas as diferenças entre os homens e os gatos?

Pensamos assim estar desfeito o dilema e ficarem as coisas assentadas em seus devidos lugares.

Expiração

Salvo a divergência já esclarecida dos intercostais internos, não há de-

sacordo entre as ações dos expiradores.

De uma maneira geral, pode-se dizer que, se a inspiração resulta de ação muscular puramente torácica, as ações musculares da expiração são puramente abdominais. A respiração pulmonar não é, pois, um fenómeno torácico, mas do conjunto toraco-abdominal, conjunto inseparável na dinâmica respiratória.

Só o pequeno dentado posterior e inferior faz exceção a esta afirmação de caráter geral, pois é um músculo torácico e expirador, mas sua ação carece de importância em relação aos abdominais.

O movimento expiratório, desde a expiração tranquila até a profunda ou forçada, de início é passivo, ativamente gradativamente, até ser, por fim, puramente ativo.

O movimento passivo

Durante a inspiração, as costelas são elevadas lateralmente em torno dos eixos esterno-vertebrais; em seguida, com a elevação do esterno são elas elevadas em torno dos eixos bitransversários; sofrem uma ligeira deflexão, por ação muscular, o que projeta o esterno para frente, num

movimento de nutação. Concomitantemente (ou posteriormente conforme exposição já feita) vai a cúpula do diafragma se baixando calcando as vísceras, que alongam a musculatura ântero-lateral do abdômen.

O ar penetra nos pulmões, que se ampliam pela pressão atmosférica. Costelas, articulações torácicas, músculos abdominais e pulmões são corpos eminentemente elásticos, cujo estado de equilíbrio corresponde à posição de expiração tranquila.

A ação inspiratória deforma todos esses corpos elásticos: os pulmões, por extensão volumétrica; as costelas, por deflexão; as articulações, por flexão; os abdominais, por extensão linear. A todas essas deformações se opõe a resistência elástica dos corpos, constantemente igual e contrária à ação inspiradora (princípio de Newton). A proporção que esta vai produzindo o trabalho motor de inspiração, a resistência elástica vai produzindo um trabalho negativo de igual valor e de sinal contrário, que imediatamente é transformado em trabalho potencial, que se armazena no corpo elástico deformado.

Cessada a força inspiradora, o trabalho potencial armazenado é restituído pela força elástica, sob a forma de trabalho cinético de expiração. Esta restituição só não é integral, por causa dos atritos internos durante os movimentos, tanto de ida, como de volta, notadamente a viscosidade dos tecidos moles.

Os músculos abdominais, que foram alongados, aumentaram a força de seu tonus, só por efeito deste alongamento (lei de Hooke). A mesma acumulação de trabalho potencial se deu e a restituição só não é integral, por causa das viscosidade do próprio músculo. É lícito considerar-se passiva a restituição, pelo tonus, do trabalho potencial acumulado. Desta forma, a expiração tranquila seria um ato inteiramente passivo, se não houvesse atritos internos. Há, pois, necessidade de um acréscimo de trabalho ativo abdominal, para compensar as perdas pelos atritos, que são tanto mais consideráveis, quanto mais amplos e mais rápidos forem os movimentos em qualquer sentido.

Será desnecessário dizer que o movimento passivo só pode vir até que se restabeleça o equilíbrio elástico dos tecidos, o que se dará com a retomada da forma primitiva.

Assim se demonstra matematicamente que o movimento passivo de expiração é trabalho indireto dos músculos inspiradores.

O movimento ativo

As ações musculares de expiração são de conhecimento vulgar.

Os retos anteriores baixam o esterno, desfazendo-lhe a elevação e a nutação, e trazendo-o abaixo da sua posição de equilíbrio, o que importará em arrastar com ele as costelas para baixo, em desfazer a deflexão da coluna dorsal e provocar uma flexão da lombar, reduzindo assim o diâmetro vertical do abdômen e o sagital do torax.

Os grandes e pequenos oblíquos, agindo em conjunto, fazem uma

nece ao torax um trabalho potencial, que lhe dá a capacidade de fazer, por si mesmo, uma inspiração com ausência de trabalho muscular.

Quando começam os movimentos ativos?

Sendo a força elástica dos corpos deformados proporcional à deformação, quanto mais forçada for a inspiração, ou quanto mais profunda for a expiração, tanto mais tendência tem o torax de, por si mesmo, voltar à posição de repouso. Essa força elástica vem diminuindo de intensidade, à proporção que o torax vem se aproximando da forma de equilíbrio, e consequentemente, a velocidade do movimento passivo vai se reduzindo, por ser a velocidade função da força.

Quando o paciente deseja ou lhe é imposta uma determinada rapidez de movimento a força muscular ativa terá que intervir logo que a força elástica passe abaixo do nível correspondente à velocidade requerida. E irá crescendo em intensidade, enquanto a elástica baixa.

Da posição de equilíbrio em diante, a força muscular terá como encargo produzir o movimento, além de ter que vencer a resistência elástica do torax, que é crescente.

Quanto mais rápido tiver que ser qualquer movimento respiratório, tanto mais cedo terão que entrar em jogo os movimentos ativos.

Os exercícios expiratórios

Os indivíduos de vida física calma, os sedentários, via de regra, só usam a respiração tranquila, em que a expiração é quase inteiramente passiva. Os músculos abdominais, pois, não trabalhando, tendem à atrofia, se adelgaçam, enfraquecem, ficam flácidos, e cedem ao peso das vísceras, do que resulta abaulamento ventral, tão comumente observado nos desafiçados à educação física.

Quando estes indivíduos, mediante um esforço qualquer mais intenso, tem que respirar mais fortemente, aumentam a ventilação pulmonar a custa de uma maior amplitude inspiratória, por via reflexa. Mas como isto poucas vezes é suficiente, ele acresce a ventilação com a aceleração do ritmo, o que nada tem de econômico para o organismo.

A estes, é preciso ensinar a respirar. Para isto, basta ensinar a expirar. A inspiração é reflexa. A expiração terá que ser a princípio conciente, mas se tornará depois automática pelo hábito.

Os exercícios dinâmicos especiais da musculatura abdominal resolvem com simplicidade o problema da expiração dos sedentários, além de influir notavelmente como estimulante fisiológico das funções viscerais, especialmente da massa intestinal.

ação análoga à dos retos, e bem mais forte, mas por tração direta das costelas para baixo. Seus feixes de forças oblíquas são decompostos em dois feixes componentes: um, vertical, que faz a ação descrita; e outro, transversal, que faz a compressão direta das vísceras, por diminuição dos diâmetros abdominais horizontais.

O transversal, dada a sua horizontalidade, não tem ação sobre o torax. Toda a sua força se aplica na compressão visceral e, nesta ação, seu papel é predominante.

Retraído o torax pelos retos anteriores e todos os oblíquos, seus diâmetros horizontais se reduzem.

Retraído o abdômen pelo transversal, os oblíquos e os retos, o diafragma é calcado para cima, e o diâmetro vertical torácico é reduzido.

Assim, a expiração chegará ao máximo.

Está evidente agora que todo o ato expiratório ativo que se processar para baixo da posição de equilíbrio do torax, irá provocar nos componentes torácicos uma deformação elástica em sentido inverso ao descrito na inspiração: — o mesmo fenômeno mecânico se passará; o mesmo armazenamento de trabalho se dará; a mesma restituição se processará, deduzida das perdas pelos atritos. E a inspiração começará, após uma expiração profunda, por um ato passivo, que continuará até a retomada do torax à sua forma de equilíbrio.

Neste fato se baseiam vários processos de respiração artificial, principalmente os de Schäffer e Pio da Rocha, que consistem em uma compressão do torax por uma força do operador, deprimindo as costelas do paciente, fazendo diretamente a expiração, ao mesmo tempo que for-