

2

Bases fisiológicas da ausculta cardio-pulmonar.

2.1.

Coração.

O coração é um músculo oco, localizado entre os pulmões, logo acima do diafragma. Em um indivíduo adulto, o coração possui uma massa de cerca de trezentos gramas, com um tamanho aproximadamente igual à de um punho fechado [5,6]. Internamente, apresenta-se dividido em quatro cavidades. As cavidades superiores são denominadas de Átrios (átrio direito e átrio esquerdo), e as cavidades inferiores são denominadas de Ventrículos (ventrículo direito e esquerdo). (Figura 4).

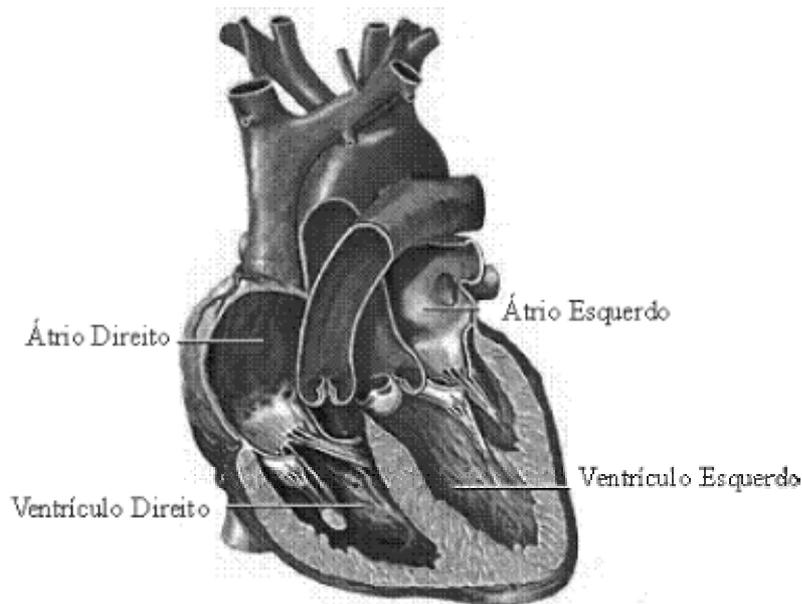


Figura 4 - O coração e suas cavidades.

Fonte: (www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/19612.htm).

A separação entre a parte esquerda e a direita do coração é fundamental para que o sangue venoso (com dejetos liberados pelo organismo) não entre em contato com o sangue arterial (sangue oxigenado e com nutrientes), e é realizada por um septo muscular. Já entre os átrios e ventrículos ocorre uma comunicação através

das válvulas tricúspide e mitral que possibilitam a passagem do sangue vindo do átrio para o ventrículo, necessariamente nessa ordem.

Os ventrículos são consideravelmente maiores que os átrios, assim como o ventrículo esquerdo comporta um volume interno menor que o do ventrículo esquerdo. Essa característica fisiológica se justifica pelas grossas paredes (grande massa muscular) que esse ventrículo tem que ter para impulsionar o sangue para o corpo todo. Para se ter uma idéia, a pressão provocada pelas suas paredes no seu interior chega até 125mmHg ($1,6 \times 10^4 Pa$), enquanto no ventrículo direito a pressão é de 25mmHg ($3,3 \times 10^3 Pa$), no átrio esquerdo é de 7mmHg a 8mmHg ($933,02 Pa$ a $1066,3 Pa$) e no átrio direito é de 5mmHg a 6mmHg ($666,44 Pa$ a $799,73 Pa$) [7,8]. No quadro 1 esta representado as equivalências de algumas unidades de pressão abordadas.

Quadro 1 - Relação de unidade de pressão. Fonte: www.climaat.angra.uac.pt/produtos/calculadoras/pressao.htm.

Unidade	Símbolo	Equivalência
pascal	Pa	$1 N.m^{-2} = 1 kgF.m^{-1}.s^{-2}$
atmosfera	atm	$101325 Pa = 101325 N.m^{-2}$
bar	bar	$10^5 Pa$
Milímetro de mercúrio	mmHg	$\sim 133,28 Pa$
Polegada de água	" H2O	$\sim 249,0889083 Pa$

2.1.1.

Ativação elétrica cardíaca.

As células cardíacas se caracterizam pela excitabilidade elétrica. A propagação normal da atividade elétrica no coração permite que o bombeamento sanguíneo ocorra de forma eficiente. Essa atividade elétrica gera correntes no volume condutor cardíaco, que podem ser detectadas na superfície do corpo, através de um exame de eletrocardiograma, ou ECG.

A ativação elétrica do coração começa num ponto do átrio direito chamado de nódulo sinoatrial. O nódulo sinoatrial funciona como um marcapasso, regulando, de forma autônoma, a frequência cardíaca. Embora o nódulo sinoatrial funcione autonomamente, ele pode e é influenciado por sinais neurológicos e hormonais, aumentando ou diminuindo a frequência cardíaca [9].

Do nódulo sinoatrial, uma onda de despolarização atravessa os átrios direito e esquerdo, fazendo com que os mesmos se contraíam, e atinge o nódulo atrioventricular onde tem a sua propagação retardada um pouco, permitindo que os ventrículos sejam completamente preenchidos de sangue (figura 4).

Após atravessar o nódulo atrioventricular a onda de despolarização percorre o interior do coração por um feixe de fibras nervosas chamado Feixe de His que, por sua vez, se divide em dois (feixes direito e esquerdo), chegando até a rede de Purkinje, e atingindo os respectivos ventrículos. A ativação elétrica ventricular induz a sua contração, resultando no envio de sangue para o pulmão (ventrículo direito) e para o resto do organismo (ventrículo esquerdo). Na figura 4 pode se observar as principais células cardíacas responsáveis pela propagação elétrica.

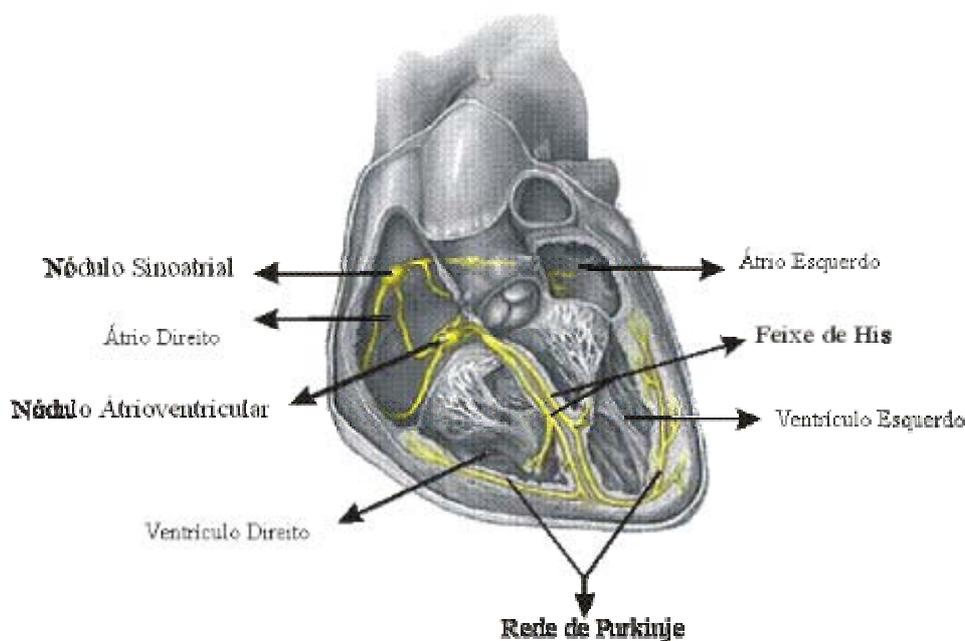


Figura 5 - Tecidos especializados que participam da ativação elétrica cardíaca. Fonte: http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/18052.htm

Qualquer alteração ou mau funcionamento na passagem da onda de despolarização pelo coração pode provocar sérios distúrbios cardíacos e até mesmo levar o indivíduo à morte. Isso acontece por que toda a sua capacidade de bombear sangue é resultado de uma delicada sincronia entre contração e relaxamento muscular, o qual tem sua origem na atividade elétrica.

2.1.2. Hemodinâmica Cardiovascular.

A hemodinâmica cardiovascular consiste do movimento do sangue pelo coração, veias e artérias. O sangue chega ao átrio direito pelas veias cavas superior e inferior. Nele o mesmo se deposita até que seja liberado, com o aumento da pressão e a conseqüente abertura da válvula tricúspide, para o ventrículo direito. Na verdade os átrios direito e esquerdo funcionam como antecâmaras para armazenamento do sangue durante o tempo em que os ventrículos estão bombeando. O formato das válvulas cardíacas possibilita a passagem do sangue somente em uma determinada direção, evitando o refluxo sanguíneo [9].

Do ventrículo direito o sangue passa pela válvula pulmonar e é levado ao pulmão pelas artérias pulmonares. Ao passar pelos vasos capilares pulmonares, realizam-se trocas gasosas.

De volta ao coração pelas veias pulmonares, o sangue com maior conteúdo de oxigênio atinge o átrio esquerdo e o ventrículo esquerdo, após passar pela válvula mitral, sendo liberado para o organismo pela artéria aorta.

A aorta também possui uma válvula, chamada de válvula semilunar aórtica. Essa válvula evita o refluxo do sangue para o ventrículo durante processo em que ele está em um estado de relaxamento, conhecido como diástole. O processo de contração dos ventrículos é conhecido como sístole.

O músculo do coração é nutrido através das artérias coronárias (figura 6) que o envolvem.

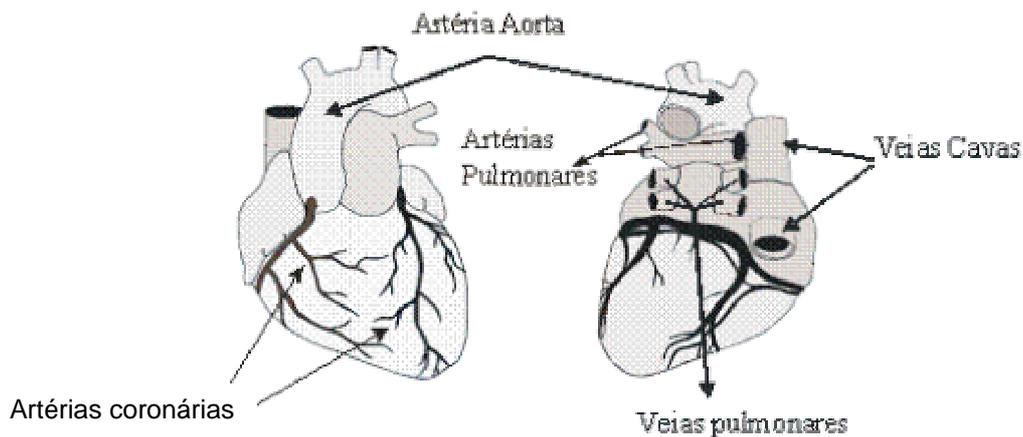


Figura 6 - Representação gráfica frontal e posterior do coração. Fonte: (figura baseada em imagens obtidas em www.afh.bio.br)

Toda a movimentação sanguínea através das câmaras e as conseqüentes aberturas e fechamentos das válvulas cardíacas provocam os sons e murmúrios que podem fornecer valiosas informações sobre o funcionamento do coração. A classificação desses sons, como eles se propagam e seus significados são temas do próximo item.

2.2. Biofísica da ausculta.

As vibrações produzidas pelo sistema cardiovascular e respiratório se propagam pelas artérias e através dos tecidos internos até a superfície do corpo. Durante o percurso elas apresentam, na interface entre meios, os fenômenos de refração (alteração de direção e velocidade de propagação), reflexão (alteração do sentido e direção de propagação) e perda de energia. À medida que essas vibrações atingem o meio externo do corpo, elas podem ser percebidas pelo ouvido humano como sons (ausculta). O som, na verdade, é o resultado de uma ou mais perturbações mecânicas em determinado meio que provocam “zonas” de altas e baixas pressões.

Quando se ausculta um paciente, é interessante observar algumas características psico-acústicas dos sons produzidos pelo coração, como a intensidade sonora (amplitude), frequência ou periodicidade (tonalidade) e qualidade (timbre) [9]. A intensidade de uma onda sonora diz respeito à quantidade de energia por unidade de área, perpendicular à direção de propagação.

A frequência por sua vez, consiste no número de vibrações que ocorrem por unidade de tempo. A frequência representa uma grandeza física associada no sistema internacional de unidades à unidade Hertz (Hz) ou ciclos por segundo. A tonalidade é a sensação auditiva que se tem de grave ou agudo de determinado som. Quanto mais baixa a frequência do som, mais grave esse som será, e quanto mais alta a frequência, mais agudo é o som. A terceira característica do som é o timbre. O timbre representa a qualidade do som, e pode ser entendido como a forma adquirida pela onda sonora [9,10]. Por esta razão, pode-se ter sons de mesma intensidade e frequência, mas diferirem de timbre. Na Figura 7, por meio de uma figura gerada em uma rotina *MatLab*, são apresentadas as curvas da amplitude de duas ondas sonoras com a mesma frequência, mas com timbre diferente.

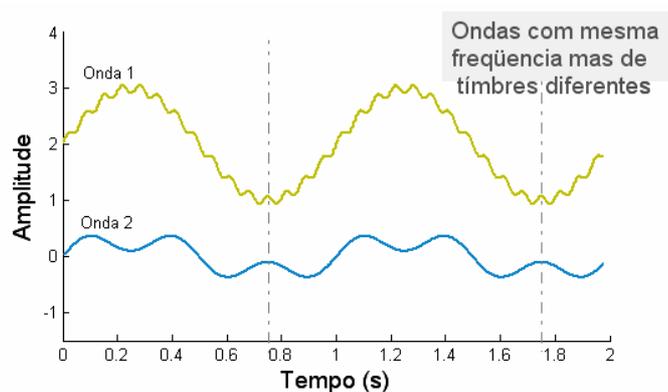


Figura 7 - Representação de ondas sonoras de diferentes timbres.

As diferenças dessas características nos sons cardíacos sinalizam diferentes comportamentos ou fases do coração, e podem revelar problemas no seu funcionamento.

2.2.1. Propagação dos sons cardíacos.

Os sons do sistema cardiovascular, como qualquer outro tipo de onda sonora, têm a sua intensidade atenuada à medida que este se propaga. Como neste caso a onda sonora tem que atravessar diferentes meios (regiões com densidades distintas), a sua atenuação é ainda maior. Entretanto, sempre que a sua trajetória tiver a mesma direção que o fluxo sanguíneo, a intensidade da onda tem a menor

taxa de perda de energia [9,11,12]. Dessa forma sons originados na válvula aórtica são mais bem auscultados sobre a artéria aorta.

2.2.2. Gênese dos sons cardíacos.

Duas teorias têm tentado explicar a gênese dos sons cardíacos normais, a teoria hemodinâmica e a teoria valvular [9].

Segundo a teoria hemodinâmica, os sons cardíacos seriam originados em decorrência das sucessivas acelerações e desacelerações que o sangue adquire quando o coração se contrai e relaxa (bombeia).

Já a teoria valvular sugere que o fenômeno sonoro cardiovascular tenha uma causa mais simples. Ele seria resultado do fechamento das válvulas.

A despeito de a teoria hemodinâmica ser mais completa, ela não oferece aos médicos balizas que tenham a simplicidade necessária para uma rápida interpretação da auscultação cardíaca. Dessa forma neste trabalho estaremos nos referindo sempre à teoria valvular.

2.2.3. Sons cardíacos.

Existem dois tipos principais de ruídos característicos chamados de primeira e segunda bulha cardíaca (figura 8).



Figura 8 – Bulhas cardíacas. (Gráfico gerado no laboratório de Biometrologia da PUC-Rio, com o uso de um estetoscópio digital).

A primeira bulha ocorre quase que simultaneamente com o pulso carotídeo. Ela é grave e tem duração prolongada [6,9]. A sua origem é devida a quatro

grupos sucessivos de vibrações: o fechamento das válvulas Mitral e Tricúspide, a contração atrial (geralmente esses sons são de baixa frequência, inaudíveis), abertura das válvulas aórtica e pulmonar, e a aceleração da coluna sanguínea na aorta e artéria pulmonar.

A segunda bulha normalmente é mais aguda e possui duração mais curta que a primeira. Ela se deve ao fechamento das válvulas aórtica e pulmonar, ao relaxamento da parede ventricular no início da diástole (relaxamento das fibras cardíacas), à vibração das paredes vasculares e da coluna de sangue, e a abertura das válvulas mitral e tricúspide.

Existem ainda mais bulhas cardíacas, a terceira e a quarta bulha. A terceira é formada por um ruído grave, fraco e longo melhor audível após esforço físico. Ela aparece logo após a segunda bulha. Pode ser um ruído normal em crianças. Sua origem está relacionada com a vibração das paredes ventriculares em razão do enchimento delas. Em adultos ela é sintoma de alguma patologia. Já a quarta bulha é quase sempre inaudível. Ela apresenta características muito parecidas às da terceira bulha, tanto do ponto de vista de frequência como de duração. Ocorre antes da primeira bulha e está relacionada com a vibração da parede ventricular. Assim como para a terceira bulha, a sua ausculta geralmente está ligada a alguma patologia.

Existem ainda dois importantes tipos de ruídos que sinalizam patologias, o sopro e os *cliques* ou bulhas de ejeção. Os sopros são ruídos longos. A sua origem está ligada ao surgimento de turbilhões na coluna sanguínea. Diferentemente os *cliques* são curtos e agudos e são gerados ou pelas vibrações decorrentes da tensão a que os folhetos semilunares estariam submetidos durante a sua abertura, ou associados a uma distensão súbita das artérias durante a ejeção ventricular.

2.3. Pulso Arterial.

Sob o contexto biológico, o pulso representa qualquer flutuação quase-periódica aplicada ao sistema cardiovascular. A onda de pulso arterial sofre alterações à medida que se desloca do centro para a periferia. Deste modo, na onda do pulso aórtico, após a abertura da válvula aórtica, a velocidade do fluxo sanguíneo aumenta rapidamente e atinge o pico de pressão máxima [5,6,9]. O

ramo descendente da curva de pressão aórtica é interrompido por uma pequena deflexão negativa, a incisura que corresponde ao fechamento da válvula aórtica. Segue-se uma pequena onda dicrótica que é produzida pelo recuo elástico da artéria. As alterações entre onda arterial de um pulso periférico em comparação com um pulso central têm como base o aumento gradual da rigidez das artérias mais periféricas. Esta rigidez se deve ao aumento da razão *espessura da parede/diâmetro do vaso*. A maior rigidez nos vasos periféricos é responsável por uma maior pressão de pulso, ou seja, uma maior diferença entre os valores das pressões sistólica e diastólica.

2.3.1. Pulso Carotídeo.

O pulso carotídeo é aquele decorrente do fluxo de ejeção sanguínea ventricular para a artéria Aorta [13]. O pulso carotídeo normal é caracterizado pela rápida e abrupta perturbação decorrente da ejeção sanguínea, gerando uma onda mecânica súbita e rápida chamada de “onda de percussão”. A essa onda se segue um platô que se mantém até o fim da sístole, e, em seguida, decresce até culminar com o fechamento da válvula aórtica. Nesse momento, caracterizado pela fase diastólica, a onda tem um comportamento decrescente de forma lenta até que a sístole ocorra novamente, repetindo o processo (figura 9).

O pulso carotídeo pode ser observado e sentido, através da palpação bilateral da artéria carótida. Na figura 9 pode-se observar a forma de onda de pulso carotídeo normal.

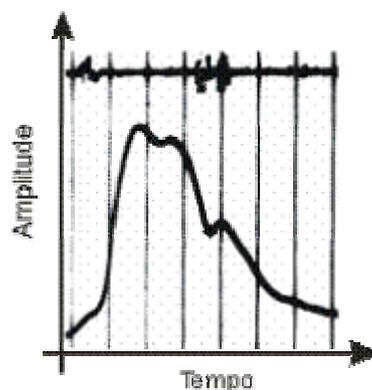


Figura 9 - Pulso Carotídeo.

Fonte: (www.manuaisdecardiologia.med.br/Semiologia/arterial.htm)

Através do exame do pulso carotídeo pode-se determinar a frequência e o ritmo cardíaco, além de avaliar a forma da onda de pulso (diretamente relacionada com o enchimento da artéria durante a sístole). Com este exame é possível detectar obstruções ao fluxo sanguíneo, propriedades mecânicas da parede arterial além de alterações miocárdicas e valvulares.

Existem algumas alterações clássicas detectáveis da morfologia da onda de pulso descritas na literatura e que representam algum tipo de patologia:

- Pulso Anacrótico – É aquele que se eleva em platô lentamente. Caracteriza a estenose aórtica valvular.
- Pulso Martelo D'água – É aquele que possui uma ascensão muito rápida e queda muito rápida também, resultante do grande volume ventricular, contra uma resistência vascular reduzida. Pode significar insuficiência aórtica.
- Pulso Bisferens – É aquele que apresenta uma onda de ascensão rápida, seguida de uma breve interrupção com nova impulsão, dando a forma de uma dupla impulsão. Pode significar miocardiopatia hipertrófica.
- Pulso Dicrotício – É aquele em que a onda de pulso é alta e apiculada. Pode significar obstruções valvulares.

2.4. Pulmão.

O sistema respiratório é constituído pelas fossas nasais, a boca, a faringe, a laringe, a traquéia e os pulmões. No interior do pulmão existe uma intrincada rede de brônquios, bronquíolos e alvéolos (figura 10).

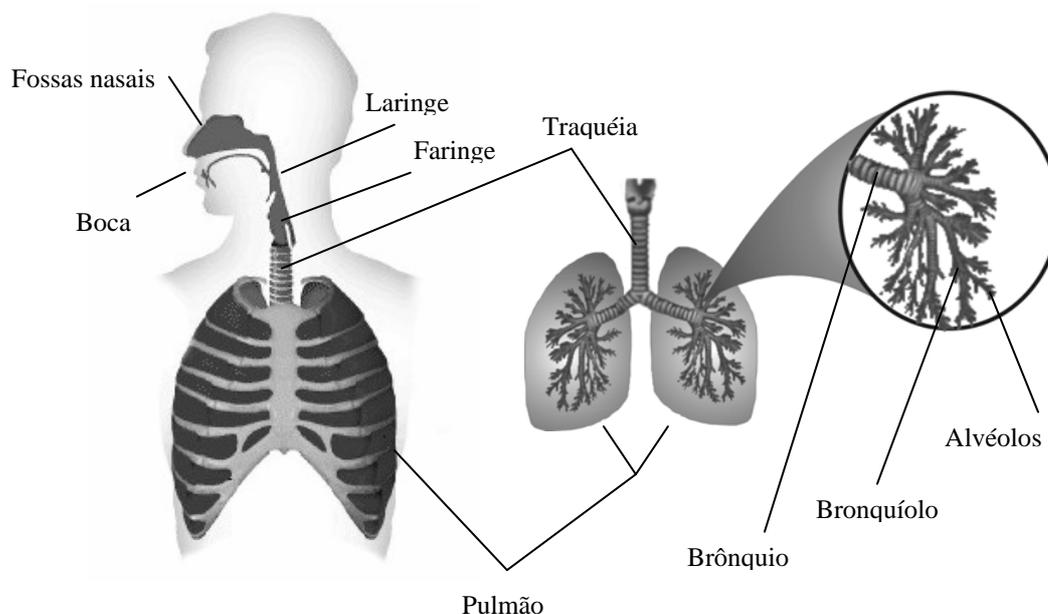


Figura 10 - Representação dos órgãos do sistema respiratório. Fonte (Figura baseada a partir de ilustrações obtidas no site: <http://www.afh.bio.br/resp/resp1.asp>)

Os pulmões são estruturas esponjosas, apoiadas sobre o diafragma, e alojadas dentro da caixa torácica. Sua principal função é a hematose, na qual o oxigênio e o gás carbônico são trocados de forma passiva (difusão) nos alvéolos [9]. A respiração se dá na medida em que há a alternância entre o relaxamento e contração dos músculos do diafragma (figura 11). Isso acontece, porque quando o diafragma se contrai, ele comprime os pulmões, expulsando o ar de dentro dele para fora do organismo, e, quando há o relaxamento, os pulmões experimentam um estado de pressão negativa (em relação ao meio extra-corpóreo), aspirando o ar para seu interior.

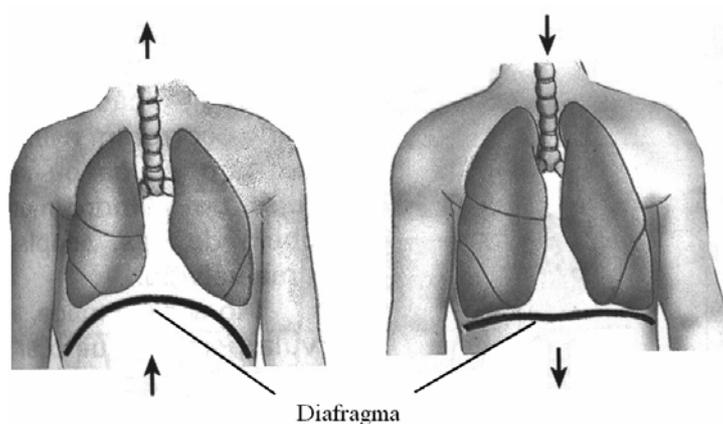


Figura 11 – Processo mecânico da respiração. Fonte: (<http://www.afh.bio.br/resp/resp2.asp>)

2.4.1. Biofísica da auscultação pulmonar.

A gênese dos sons pulmonares é devida ao escoamento dos fluidos pelo sistema respiratório [9,10].

Um fluido escoando através de um tubo pode fluir de forma laminar ou turbulenta. Quando o escoamento é laminar o movimento da massa fluida se dá de forma silenciosa. Entretanto, quando o escoamento é turbulento, a grande quantidade de turbilhões formados na massa fluida torna a sua passagem muito mais ruidosa. A respiração tranqüila é caracterizada pelo escoamento do tipo laminar, assim como a respiração forçada é caracterizada pelo escoamento do tipo turbulento. Isso acontece porque quando há obstáculos nas vias aéreas, o ar se torna cheio de turbilhões.

O escoamento turbulento também se dá nas bifurcações do sistema respiratório, assim como nos segmentos onde o diâmetro do tubo varia abruptamente.

Os sons pulmonares têm, em relação aos sons cardíacos, menor quantidade de componentes de baixa frequência. Dessa forma eles são mais agudos [9,10].

A ausculta pulmonar é feita sobre toda a região anterior, posterior e lateral do tórax, mas como essas ondas sonoras tendem a se refletir (atenuando-se) quando atravessam o meio líquido para o meio ósseo, se evita a auscultação sobre as escápulas.

2.5. Limites auditivos.

É comum se referir à intensidade sonora não por intensidade absoluta, mas sim por intensidade relativa (relação entre duas intensidades sonoras) ou decibel (dB). Um decibel consiste de dez vezes o logaritmo de base dez da razão entre duas intensidades sonoras [10].

$$L_R(dB) = 10 \log_{10}(I_2/I_1)$$

Onde L_R é a intensidade sonora relativa, I_1 corresponde à intensidade sonora característica do limiar de audição (intensidade de referência), e I_2 é a

intensidade sonora do som em questão [11]. Essa caracterização de intensidade sonora é importante, uma vez que, conforme descrito mais adiante, existe uma relação entre intensidade sonora, frequência e capacidade de audição. No quadro 2 pode-se observar a intensidade de alguns sons.

Quadro 2 – Intensidades aproximadas de alguns sons. Fonte: (Tabela baseada em quadro do livro *Physics of the body*, 2nd ed. Madison, Wisconsin: Medical Physics Publishing, 1999)

	$I_2 (W/m^2)$	$L(dB)$
Sons quase inaudíveis	10^{-12}	0
Sussurro	10^{-10}	20
Ruído de escritório	10^{-7}	50
Ruído de rua	10^{-5}	70
Ruído de automóvel	10^{-3}	90
Limiar da dor (desconforto)	10^0	120

Quando uma onda sonora atinge o ouvido de determinada pessoa, ela gera uma perturbação mecânica no tímpano da mesma. Na figura 12 pode-se observar como o ouvido está estruturado. A perturbação gerada pelo som faz o tímpano vibrar, e essa vibração é transmitida a uma série de minúsculos ossos ligados ao tímpano que acionam um sistema de transformação desses sinais vibracionais em sinais elétricos. No cérebro esses sinais são interpretados como os sons que ouvimos no dia a dia [10].

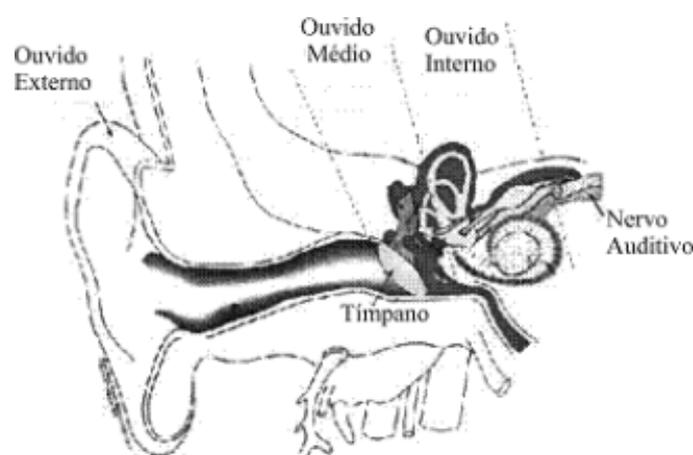


Figura 12 - Representação do ouvido. Fonte: (figura baseada em ilustração retirada de www.afb.bio.br/sentidos/Sentidos3.asp).

Entretanto, não é toda e qualquer vibração mecânica que ao atingir o tímpano pode ser convertida em informação auditiva. Existe uma faixa de frequência e intensidade na qual nossos ouvidos operam. Fora dessa “faixa de operação” não escutamos nada. Normalmente uma pessoa com boa audição, escuta em uma faixa de frequências de 20Hz a 20 kHz [6, 9-11]. Abaixo na figura 13 pode-se observar a relação entre frequência e intensidade para as condições sonoras audíveis ou não, de conforto e dolorosas mesmo.

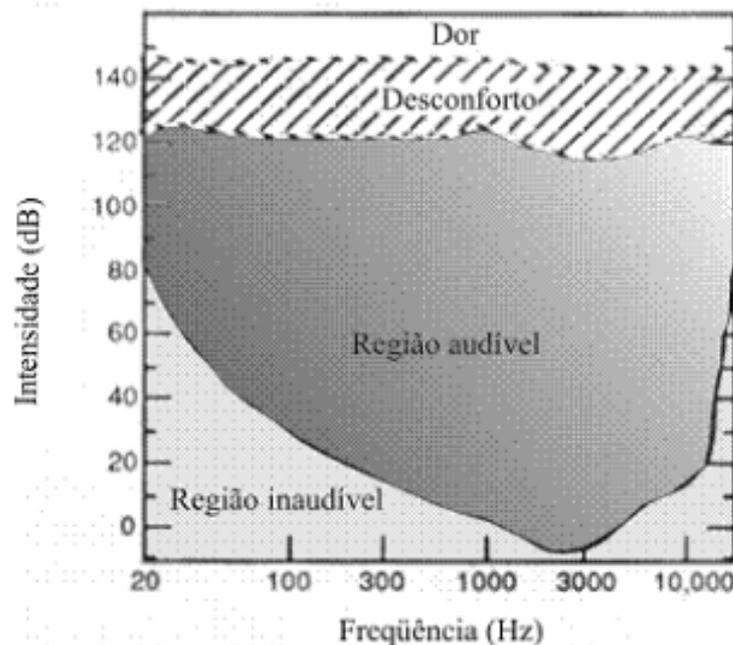


Figura 13 - Gráfico de sensibilidade auditiva. Fonte: (Desenvolvido com base na Figura do livro *Physics of the body*, 2nd ed. Madison, Wisconsin: Medical Physics Publishing, 1999).

É interessante notar que não podemos ouvir sons de frequências muito baixas, mesmo que a sua intensidade seja alta. Em contrapartida, somos capazes de ouvir sons muito mais baixos que possuam frequências altas. Essa característica significa que muitos dos sons produzidos pelo sistema cardio-respiratório não podem ser detectados pelos nossos ouvidos, e, como a maioria dos sons cardíacos é de baixa frequência, muita informação se perde, pois não pode ser analisada com um estetoscópio convencional. Mesmo para os sons pulmonares que são de frequência maior que os cardíacos, ainda há perda de informação (esse assunto será abordado mais adiante na descrição dos estetoscópios, no capítulo 3).