ROSÂNGELA RODRIGUES DE OLIVEIRA

A FÍSICA APLICADA NA MEDICINA

Ji-Paraná / RO, Dezembro 2009

A FÍSICA APLICADA NA MEDICINA

Rosângela Rodrigues de Oliveira

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Física e aprovado em sua forma final. Pela Banca examinadora.

Banca Examinadora

Profª. Drª. Luciene Batista da Silveira
Orientadora – UNIR

Prof. Dr. Judes Gonçalves dos Santos
Membro – UNIR

Prof. Dr. João Batista Diniz
Membro – UNIR

Dedico este trabalho a minha família, por toda uma vida consagrada ao amor e criação de seus filhos. Pela sua compreensão quando da minha falta decorrente da exigente rotina acadêmica, e por que sempre esteve comigo e me apoiou para que eu pudesse alcançar os meus objetivos. E são a eles há que eu dedico todo o meu amor.

As ocasiões nas quais os homens adquiriram um conhecimento dos fenômenos celestes não são menos admiráveis que as próprias descobertas...

Johannes Kepler

A minha orientadora, professora Luciene Batista da Silveira, por não medir esforço ao atendimento e elaboração deste trabalho.

E os meus amigos que sempre me apoiaram e estiveram comigo, que de forma direta ou indiretamente, colaboraram para a realização desta pesquisa.

A Universidade Federal de Rondônia - UNIR, por me permitir a realização de um sonho a conclusão de um curso superior.

ABREVIATURAS

FMRI - Ressonância Magnética Funcional

MRI - Magnetic Resonance Imaging

ABFM - Associação Brasileira de Física Medica

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - O Homem Vetruviano 11
Figura 1.2 - Fig. 1.2 – Microscópio. 12
Figura 1.3 - Ilustração da experiência de Galvani 13
Figura 1.4 - Primeira chapa de raio-X 15
Figura 1.5 - Ecolocalização dos morcegos 17
Figura 1.6 - Alinhamento do átomo 18
Figura 1.7 - Símbolo da física media 20
Figura 2.1 - Tubo de raio-x 21
Figura. 2.2 - Radiação característica 22
Figura. 2.3 - Radiação de freio 23
Figura 2.4 - Efeito fotoelétrico 23
Figura 2.5 - Efeito Compton 24
Figura. 2.6 - Radiografia do tórax e quadril 25
Figura 2.7 - Equipamento de tomografia 25
Figura. 2.8 - Tomografia de uma fatia de um fígado 26
Figura 3.1 – Onda 27
Figura 3.2 - Efeito Doppler 28
Figura. 3.3 - Ultra-som de um feto em crescimento 29
Figura 3.4 - Realização do ultra-som 29
Figura. 3.5 - Imagens de ultra-som 3D 29
Figura 3.6 - Equipamento de ressonância magnética 31
Figura. 3.7 - Crescimento do tumor em um cérebro feminino 32
Figura. 4.1 - Registros do potencial elétrico 33
Figura 4.2 - Realização do eletrocardiograma 34

RESUMO

Através da história podemos ver como se deu as descobertas dos fenômenos físicos que hoje estão presente no cotidiano de muita gente, os personagens que mudou e revolucionou naquela época a medicina, como se deu o desenvolvimento de equipamentos que foram introduzidos nos hospitais, e os novos que foram sendo descobertos através de um mesmo segmento de estudo.

Analisaremos o que mudou na medicina com estas novas descobertas, se elas foram benéficas ou maléficas ao ser humano. Como funcionam os equipamentos, e como ocorrem os fenômenos físicos para formar informações que poderão ajudar a diagnosticar o problema de saúde do paciente.

ABSTRACT

Throughout history we can see as it was the discoveries of physical phenomena that are now present in everyday life of many people, the characters changed and that time has revolutionized medicine, as it was the development of equipment that have an interest in hospitals, and new were discovered sit through a segment of study.
We will review what has changed in medicine with these new discoveries, if they were beneficial or harmful to humans. How the equipment, and how the physical phenomena occur to form information that may help diagnose the problem of the patient.

SUMÁRIO

1 – BREVE HISTÓRIA DA FÍSICA NA MEDICINA 11
1.1 – A Primeira Aplicação 11
1.2 – O Primeiro Equipamento 12
1.3 – A Primeira Eletrocardiografia 13
1.4 – O Desenvolvimento dos Aparelhos de Raio-X 14
1.5 – A Utilização dos Sons 17
1.6 – A Descoberta da Ressonância Magnética 18
1.7 – A Nova Profissão 19

2 – EQUIPAMENTOS DE RADIOGRAFIAS 21
2.1 – Produção do Raio-X 21
2.1.1 – O Raio-X e a Matéria 23
2.1.2 – Formação de Imagem da Chapa de Raio-X 24
2.2 – Tomografia Computadorizada 25
2.3 – Outras Contribuições 26

3 – EQUIPAMENTOS NÃO INVASIVOS 27
3.1 – Ultra-som 27
3.1.1 – Equipamento e Formação de Imagem Por Ultra-som 28
3.1.2 – Ultra-som 3D 29
3.1.3 – Os Perigos do Ultra-som 30
3.2 – Ressonância Magnética 30
3.2.1 – O Equipamento e a Formação de Imagem Por Ressonância Magnética 30
3.2.2 – Desvantagem da Ressonância Magnética 32

4 – ELETROCARDIORAMA 33

Conclusão 35

Bibliografia 36

1 - BREVE HISTÓRIA DA FÍSICA NA MEDICINA

Aqui iremos reladar um pouco da historia de como se deu as novas descoberta dos fenomenos fisicos e como eles foram sendo acoplata no codidiano dos hospitais, para o diagnosticos por imagem e por capitaçao das correntes eletricas que percorrem em nosso corpo.

1.1 – A PRIMEIRA APLICAÇÃO

As primeiras aplicação da fÍsica na medicina foi com a biomecânica embora que esta linha de estudo tenha iniciado por Aristóteles a (384 – 322 a.C) o qual deu inicio o termo da Biomecânica pela primeira vez, ele estudou a anatomia e estrutura dos seres vivos, o mesmo foi o primeira a introduzir do termo de mecânica, mas foi com o Leonardo da Vinci (1.452 – 1.519) que a física pode ser aplicada ao movimentos do corpo humano, no século XVI, ele qualifica a mecânica como a mais nobre e útil ciências pelo fato de que todos os corpos vivos que possuem capacidade de movimentar-se, agem de acordo com as leis desta ciências, o mesmo estudou sobre a anatomia humana e analisou forças musculares e funçoes articulares, o qual também estudou locomoção humana e o movimento do coração e do sangue no sistema cardiovascular, ele escreveu um livro chamado “Mecânica do movimento”. Mas não acabou por aí vieram outros estudiosos e deu contimuidade e aperfeiçoando o estudo da biomecânica.

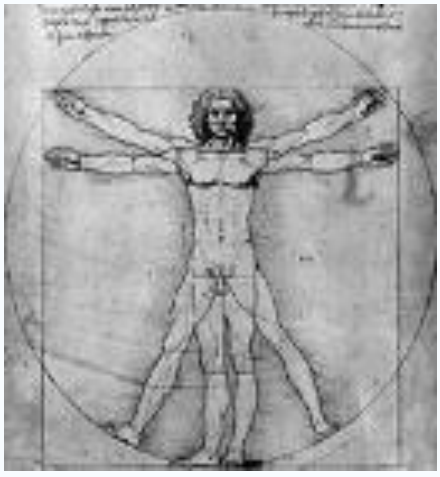

Fig.1.1 – o homem vetruviano (http://fisicamedica.net)

1.2 – O PRIMEIRO EQUIPAMENTO

São especuladas muitas histórias de quem realmente foi o inventor do microscópio, apenas podemos afirmar que o mesmo foi desenvolvido com o avanço da óptica no século

XVII, embora ter relatos que em 721 a.C, eram usados cristal de rocha recortado com propriedades de ampliação, mas somente por volta de 1.280 é que as lentes foram realmente conhecidas com a invenção dos óculos.

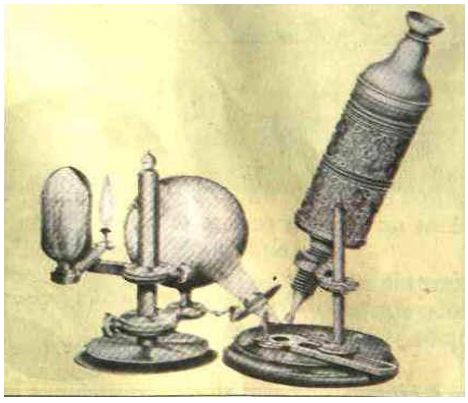

Fig. 1.2 – microscópio (http://cdcc.usp.br)

O primeiro microscópio era simples formado por apenas por um tubo com uma lente convergente, e assim aumentando a imagem, e era utilizada a luz natural e também possui uma distância focal muito pequena o que para enxergar o objeto tinha que se aproximarem muito as lentes do mesmo, como mostra a figura. 1.2.

> *No século XVII, o cientista inglês Robert Hooke usou o instrumento em suas pesquisas. Ao examinar um pedaço de cortiça, Hooke verificou que ela era feita de pedacinhos células. Na época, essa importante descoberta estimulou o interesse científico nas formas microscópicas de vida. (Enciclopédia Ilustrada do estudante,1995 p. 400)*

Este avanço possibilitou ver o que até então era invisível e desconhecido, ajudou os médicos a compreender melhor as estruturas biológicas dos microorganismos e o classificarem cada um deles.

O microscópio foi se desenvolvendo com passar dos tempos, o que possibilitou enxergar microorganismos com maior definição, o que forneceu um avanço na medicina, o microscópio foi aplicado nos estudos das patologias. Com isto foi conhecendo melhor os microorganismos e como eles se organizavam, e como os mesmo nos atingiam, se eram prejudicial à saúde e de que forma eles se manifestavam em nos corpo. Com estes conhecimento foi possível a fabricação dos antibióticos e mais tarde o das vacinas que ajudou e continua ate hoje prevenindo e combatendo muitas doenças e impedindo que o mesmo se espalhe.

Porém hoje os cientistas têm um grande desafio, os quais são de combater novos vírus que estão surgindo que muitos deles são letais. Com o passar do tempo muitos dos vírus

que já eram conhecidos sofrerão mutações o que forneceram ao mesmo uma maior resistência contra as vacinas e remédios.

1.3 – A PREIMEIRA ELETROCARDIOGRAMA

Já no século XVIII a eletricidade gerado por alguns peixes já era conhecida quando o cientista e medico italiano Luigi Galvani relatou sua observação quando a contração da pata da rã. É relatada duas historia como Luigi Galvani conseguiu observar este fenômeno, que refere-se ao trabalho com rãs que ficavam penduradas numa haste de cobre, assim que a pata tocava no ferro os músculos se contraiam. A outra história é que Luigi Galvani colocou algumas rãs mortas em um prato metálico e aplicando um choque elétrico sobre um delas produzia contração muscular à figura 1.3 ilustra experimento de Galvani. A partir deste momento passou a dedicar-se ao estudo da eletricidade animal. Luigi Galvani escreveu um livro colocando o que tinha observado nos seus estudos.

> *"o músculo e o nervo constituem uma espécie de condensador de uma própria e peculiar eletricidade que existe em todos os animais vivos"... "nos músculos se reúnem o fluidos elétricos, que logo se difunde pelo corpo mediante a rede de nervos, os quais são condutores naturais dos fluidos elétricos e que se insinuam com suas extremidades dentro dos músculos"* (Galvani 1871) (GARCIA 2002 p. 1)

O que Luigi Galvani observou naquela época, hoje serve para explicar como nós conseguimos movimentar, que e comandado através do nosso celebro, quando pensamos em fazer algum movimento o cérebro envia pulsos elétricos para que possamos realizar o mesmo.

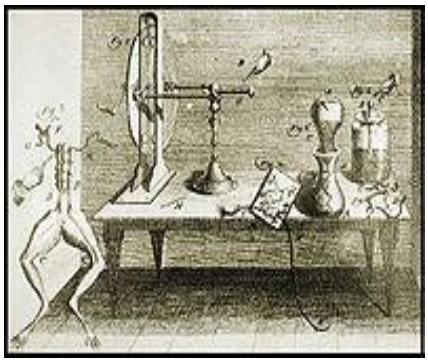

Fig. 1.3 – ilustração da experiência de Galvani (http:// PT.wikipedia.org)

Na mesma época Alejandro Volta realizou um experimento com um gerador químico de eletricidade e concluiu que os músculos e os nervos não produziam eletricidade e sim, que

eles somente eram condutores de eletricidade, e que a fonte de eletricidade era do par bi metálico usado por Luigi Galvani. Fazendo com que Luigi Galvani voltasse a realizar novos experimentos, onde ele colocava a pata da rã sobre o nervo ciático de outra rã, com isto ele obteve uma contração dos músculos das patas da rã sem a utilização do bi metálico. Provando assim o que já havia mencionado anteriormente, que os geradores de tensão e de corrente elétrica estavam no próprio animal.

Os experimentos de Luigi Galvani chamaram a atenção para a eletricidade animal, não demorou para que Augustus Desiré Waller se interessasse também pela a eletricidade animal, fazendo com que ele descobrisse que os batimentos cardíacos ocorriam no mesmo instante em que a corrente elétrica apareciam, e que os mesmos poderiam ser detectados na superfície do corpo, usando eletrodos encostados na pele e conectados a um galvanômetro.

Willem Einthoven estava estudando os fenômenos respiratórios quando os problemas da eletrofisiologia o chamam a atenção no início de suas pesquisas, o mesmo utilizou um equipamento chamado de eletrômetro capilar de Lippmann, com este aparelho ele conseguiu produzir o primeiro eletrocardiógrafo. Dedicou-se a investigar com atenção o que o caracterizava. Durante dez anos usou o mesmo aparelho e viu a necessidade de mudar devido ter que fazer correções matemáticas das curvas produzidas pelo amortecedor do aparelho passando assim a utilizar o galvanômetro de bobina, mas para a utilização do mesmo teve que fazer algumas adaptações, foi influenciados pelos amigos a utilizar o eletrômetro capilar. Este aparelho o ajudou muito, já apresentava maior a periodicidade e sensibilidade, melhor nitidez da imagem e maior simplicidade de manejo.

Com os anos os aparelhos do eletrocardiograma foram sendo aperfeiçoado pelo o mesmo Einthoven e por outro que se interessaram pelo o assunto, ate chegar ao aparelho que hoje se encontra nos hospitais.

1.4 – O DESENVOLVIMENTO DOS APARELHOS DE RAIOS-X

Foi no dia 8 de novembro de 1.895 que o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen descobriu o raio-X por acidente, assim com a maioria das descobertas do ser humano, Wilhelm Conrad Röntgen estava estudando o fenômeno e suas propriedades da luminescência produzido por raios catódicos no tubo semelhante ao de Crookes. O tubo era de vidro oco onde tinha um catodo metálico aquecido que emitia elétrons, que era chamado de raios

catódicos, estes eram direcionados ao anodo. Devido Wilhelm Conrad Röntgen ter recoberto a ampola com papel preto e colocou em uma câmera escura, para que a luz produzida na ampola não se pode escapar. Também foi utilizado um pedaço de papel com platino cianeto de bário, que era muito utilizado naquela época para detectar a radiação ionizante. Quando aplicava uma correte elétrica entre os eletrodos, o pedaço de papel tornava-se fluorescente. Concluiu que da ampola escapava uma radiação estranha, e sabia que não eram os raios catódicos, pois eles não eram capaz de atravessar pelo o vidro ou pela luz produzida pelo o mesmo, por que ela não passaria pelo o papel preto. Com isto resolveu estudar estes raios que o batizou de raio-X, por causa de suas propriedades físicas desconhecida.

Wilhelm Conrad Röntgen resolveu modificar a ampola de Crookes trocando platina no lugar do alumínio na fabricação dos eletrodos e o anodo seria o alvo de bombardeio dos elétrons, com isto aumentando a quantidade dos raios-X posteriormente trocou a platina do anôdo pelo o tungstênio.

Como já tinha percebido que o raio-X podia atravessar os corpos, sendo que uns apresentava uma estrutura mais opacas e outra mais transparente. Então resolveu pedir a sua esposa que colocasse a sua mão entre os dispositivos e o papel fotográfico. A foto representou a estrutura óssea interna da mão humana, e esta foi a primeira chapa de raio-X o qual podemos ver na figura 1.4. Os estudos de Wilhelm Conrad Röntgen sobre o raio -X fez com que ele ganha-se o premio Nobel de Física, em 1901. Esta descoberta fez com que outros cientistas se interessaram em estudar o raio-X, e também recebesse premio Nobel de Física.

Fig. 1.4 – primeira chapa de raio-X (http:// PT.wikipedia.org)

Logo depois da descoberta, era pouco o que sabia sobre sua constituição do raio-X. No começo do século XX foi encontrado evidencias experimentais que o raio-X era constituído de partículas. Walther Friedrich e Paul Knipping em 1.912 produziu um feixe de raio-X e fez incidir sobre um cristal e percebeu que produzia interferência da mesma forma que a luz. A partir daí os raio-X passou a ser considerado como ondas eletromagnéticas.

Em cinco de janeiro de 1.896. A notícia da nova descoberta, e no mesmo ano os médicos adotaram a novidade, pois, dava para ver os ossos quebrados e órgãos doentes dentro do corpo, e também no tratamento de câncer. Não demorou a aparecer as lesões provocada pelo o raio-X. A maioria das vítimas eram os operários das máquinas, os quais sofriam repetidas exposições.

Muito outros cientistas ao longo dos anos, estudaram para que pudessem aprimorar cada vez mais novas técnicas para a realização das radiografia, aumentando a qualidade do exame, não só para obtenção de uma melhor imagem, como também para preservação do próprio paciente, que receberia menos radiação.

O raio-X foi utilizado para a confecção de outros equipamentos que ajudam um melhor diagnóstico, em 1.918 foi desenvolvida a ventriculográfia cerebral, o que ajudou a uma melhor diagnóstico dos tumores cerebrais. Já em julho de 1.927 Egar Moniz desenvolveu a angiografia cerebral pela introdução de contraste na artéria carótida com pulsão serviçal.

Com a evolução dos novos equipamentos surgiram novos métodos, surgindo assim a planigrafia linear, depois a politomografia onde os tubos de raio-X realizavam movimentos complexos enquanto eram emitidos. No Brasil, Manuel de Abreu desenvolveu a abreugrafia, um método rápido de cadastramento de paciente para se fazer radiografia do tórax.

E em 1.952 desenvolveu-se a técnica da angiografia da artéria vertebral por punção da artéria femoral da coxa, passado um catéter que ía até a região cervical. Já por volta de 1.970 perceberão que através de catéteres para a angiografia, começou ocluir os vasos tumorais, o que deu início da radiologia intervencionista e terapêutica. O que e usado até os dias atuais os catéteres, o mesmo ditado e desobstrui até as coronárias (artéria em forma de coroa que irriga o coração), passado pela artéria femoral do paciente, o que evitou casos de cirurgia para a desobstrução de artéria.

Deste a descoberta do raio-X, as pesquisas não pararam e surgiam assim novas técnicas de exame, que facilitou os diagnósticos dos médicos.

E na década de 70 o engenheiro J. Hounsfield de nacionalidade inglesa, usando os conhecimentos sobre o raio-X desenvolveu a tomografia computadorizada, acoplando o raio X a um computador, o que ajudou muito, pois o aparelho fornecia uma imagem do corpo humano em fatias transversais no monitor do computador e só depois era passada para um filme de radiografia.

A vantagem e que a tomografia computadorizada é muito sensível que os outros tipos de exame que o mesmo consegue separar as partes moles, facilitando até um diagnóstico de tumores.

1.5 – A UTILIZAÇÃO DOS SONS

A primeira teoria referente a certo animal que não tinha uma visão perfeita se orientava pelos sons que emitiam foi publicado por Spallanzani em 1.794, quando estava estudando sobre a orientação dos morcegos através do ultra-som igual à figura 1.5. Jurine também realizou um experimento o que provava a teoria de Spallanzani, ele observou o comportamento dos morcegos referente à sua orientação durante os vôos, quando eram obstruídos os mecanismos de audição do morcego o mesmo ficou desorientado.

> *"Certos animais – como, por exemplo, os morcegos, os golfinhos, as mariposas etc. – se locomovem, encontram alimentos e fogem do perigo através das ondas ultra-sônicas que eles próprios emitem. As observações do comportamento desses animais sugeriram a idéia do desenvolvimento do sonar, durante a Segunda Guerra Mundial..." (Okuno, 1982 p.238)*

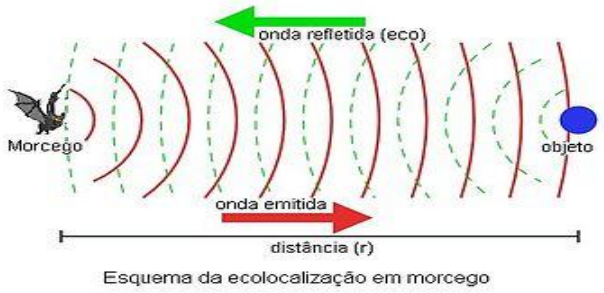

Fig 1.5 – Ecolocalização dos morcegos (http://upload.wikimedia.org)

Em meados de 1.880 Curie & Curie descobriram alguns materiais que parecia com cristal de quartzo que se submetido às forças constritivas, geram eletricidade e se fizer o contraio submeter a uma força constritiva o mesmo gera eletricidade, que foi conhecido como efeito piezoelétrico, esta descoberta é a base para duas invenções importantes: o transdutor que hoje e utilizado para faz o exame de ultra sonografia e a outra invenção foi o microfone de ultrassom, que é a base física para o ultra sonografia atual.

Com estes conhecimentos foram feitos os geradores de sons de baixa freqüência, o qual foi utilizado para fins militares durante a segunda guerra mundial. O ultra-som recebeu

uma grande atenção o que gerou um aprimoramento desenvolvendo assim o sonar e o radar, para determinação de distâncias e focalização de objetos no ar.

Entre 1.954 e 1.957 surgiam os primeiros trabalhos sobre a aplicação do efeito Doppler, e posteriormente Douglas Gordon desenvolveu um mecanismo bidimensional que tornou possível a representação geométrica dos órgãos a ser examinados no monitor. E em 1967 foi formulada uma nova modalidade de ultrassom diagnosticada na medicina, o qual foi desenvolvido pelo o engenheiro Donald W. Baker, utilizando os princípios da descoberta pelo o físico alemão Johann Christian Doppler em 1.842. O chamado "efeito Doppler", o é a freqüência de uma onda emitida ou refletida por um objeto que se move a uma determinada velocidade sofrendo um deslocamento de mais ou menos proporcional a velocidade. Com isto pode se visualizar obstrução, aneurisma, etc. pode ser detectado por um equipamento de ultrassom adaptado para medir ou visualizar a freqüência do sinal, além da sua amplitude.

É de fundamental importância ter uma base dos fenômenos física para a ultra-sonografia para quem utiliza esse método de diagnóstico, por que dele depende a escolha do equipamento apropriado e o uso da técnica adequada.

1.6 – A DESCOBERTA DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

O termo spin veio como uma explicação do experimento de Stern-Gerlach na década de 20 foi determinada que os prótons que estão contidos nos núcleos dos átomos que realizava um movimento em torno do seu eixo, o qual foi denominado de spin ou giro em português. Na mesma década foi postulado que o núcleo dos átomos funciona-se como um minúsculo ímã.

Posteriormente em 1.937, o físico russo Isidor I. Rabi descobriu um fenômeno que o chamou de ressonância magnética nuclear. Sabendo-se que os elétrons em sua órbita em torno do núcleo formam um dipolo elétrico, o mesmo submeteu uma substância a um forte campo magnético, assim os dipolos magnéticos se alinharão em uma mesma direção como na figura 1.6, seguindo as linhas do campo, foi observado que a substância conseguia absorver energia radiomagnético externo proporcional a intensidade do campo magnético o que se deu o nome de ressonância, e quando era suspenso o campo, os átomos devolviam a energia absorvida e voltava ao seu movimento aleatório. Com a soma de toda a frequência Rabi conseguia saber a quantidade de determinado átomos presente em uma amostra, este novo método de análise de molécula foi chamado de espectroscopia de ressonância magnética nuclear. Rabi ganhou um

prêmio Nobel de física em 1.944, com as tuas descobertas. Usando o mesmo segmento de estudo os físicos americanos Felix Bloch e Edward Purcell estudou a ressonância magnética nuclear com bastantes detalhes fazendo com que os mesmos ganharam também um prêmio Nobel de física em 1.952.

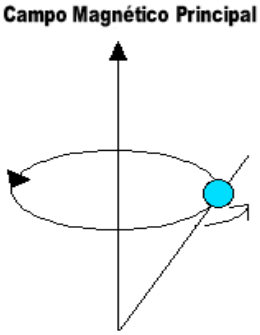

Fig. 1.6 – Alinhamento do átomo (http:// saude.hsw.uol.com.br)

Já na década de 60, outro físico americano Paul C. Lautebur concluiu que poderia obter uma imagem de um determinado plano, submetendo-o a um campo radiomagnético, com isto ele combinou um campo magnético forte com um mais fraco, para a reconstrução das imagens, ele utilizou o sistema da tomografia axial computadorizada, a princípio foram conseguidas as imagens de seres vivos pequeno, e frutas. "as primeiras publicações por Lauterbur, relativas à localização espacial e à técnica de reconstrução projetiva por Ressonância Magnética denominado então de zeumatografia" (MAGALHÃES 1999 p. 1).

Através deste estudo foi construído em 1.975 o primeiro tomógrafo de ressonância magnética nuclear, esta técnica foi considera ideal para obtenção de imagem de tecidos moles, a primeira imagem obtida demorou nove horas. Ouve uma grande polêmica na época por causa da palavra nuclear, e a técnica passou a ser chamada de MRI, que vem do inglês Magnetic Resonance Imaging. E em 1.980 foram feitas as primeiras máquinas comerciais.

Com a descoberta de substância de contrastes, foi desenvolvido o FMRI ressonância magnética funcional, o MRI foi trocado pelo o FMRI nos estudos para mapear o celebro, por obter imagem de melhor resolução anatômica.

1.7 – A NOVA PROFISSÃO

Nas ultimas décadas muitos físicos e cientistas vieram realizando varias pesquisas o que levaram as descobertas de vários novos fenômenos físicos, as quais foram sendo utilizadas em enúmeras áreas, porém estes conhecimentos evolucionaram a medicina, pois

proporcionou um método de diagnostico mais eficaz, através de equipamentos que foram criados com base nos fenômenos físicos.

As duas disciplinas caminhavam juntas para um bem comum, devido a isto foi criada a física médica e já na década de 50, médicos e profissionais de física médica já trabalhavam em conjunto. Nas décadas de 60 e 70 foram criadas legislação para estabelecer a atuação destes profissionais em algumas áreas da medicina. Já no Brasil a física médica foi sendo melhor estruturada devido à criação da Associação Brasileira de Física Médica (ABFM) em 1.969 a figura 1.7 representa o símbolo desta profissão.

O profissional de física médica pode atuar em várias áreas porém as principais são radiologia diagnóstica, medicina nuclear, processamento de sinais e imagens biomédicas, metrologia das radiações, radioterapia, radiobiologia, proteção radiologia, radiocirurgia, biomagnetismo, clínicas e epidemiologia.

Este profissional também vem atuando em conjunto com outras áreas, como por exemplo, da biomédica, na calibração e medição de controle de proteção da radiação dos equipamentos físicos utilizados na saúde, nas técnicas terapêuticas com base científica.

Os físicos médicos vêm cada vez mais atuando na área da saúde, hoje é muito importante a presença destes profissionais nos hospitais, pois são eles que verificam a qualidade e a segurança dos equipamentos, para prestar a sociedade serviços de saúde de qualidade.

Fig. 1.7 – símbolo da física media (http://lapimo.sel.eesc.usp.br)

2 - EQUIPAMENTOS DE RADIOGRAFIA

Com a facilidade que o raio-X tem de atravessar os corpos, os médicos podem examinar com extrema facilidade os ossos quebrados, cavidades e objetos que foram engolidos. Ao serem modificados os procedimentos com o raio-X podem ser usados para examinar tecidos mais moles, como os pulmões, os vasos sanguíneos, intestinos, e utilizados em tratamentos de tumores, câncer, doenças ósseas etc., através de exames de radiografias e tomografias, entre outros, porém iremos abordar apenas a chapa de raio-X e a tomografia computadorizada. Abordaremos a produção do raio-X, como funcionam os equipamentos, e como são formadas as imagens.

2.1 – PRODUÇÃO DO RAIO-X

O dispositivo que gera o raio-X é uma ampola de vidro de elevado vácuo que contem um par de eletrodos de tungstênio, um cátodo (pólo negativo) e um ânodo (pólo positivo) como mostra a figura 2.1. O cátodo e o filamento ficam num mesmo potencial elétrico e funcionam como um dos eletrodos da ampola, o qual esquenta com a passagem da corrente elétrica de alta voltagem. Ao aquecer os átomos de tungstênio, os elétrons ganham energia térmica suficiente para abandonar o cátodo. Com a alta voltagem cria-se também uma diferença de potencial entre os eletrodos, o que faz com que os elétrons emitidos pelo filamento sejam acelerados em direção ao ânodo que está carregada positivamente, é um disco achatado feito de tungstênio, por agüentar altas temperaturas. O fluxo de elétrons emitido pelo filamento vai variar de acordo com a corrente elétrica.

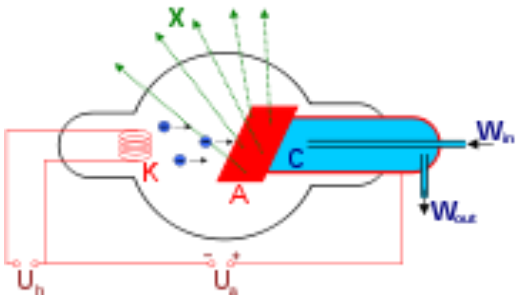

Fig. 2.1 – Tubo de raio-x (http://pt.wikipedia.org)

Como a diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo é extremamente alta, fazendo com que os elétrons atravessem a ampola em alta velocidade. Ao se chocar com o elétron da camada interna do átomo alvo de tungstênio ele o desloca (somente se a energia do elétron for maior que a energia de ligação da camada eletrônica) com isto a órbita onde estava este elétron fica um buraco, ou seja, vazio. Com isto o átomo fica ionizado e precisa ser estabilizado. Para isto um elétron que está na camada mais externa, ou seja, o que está em uma órbita com menor energia migra para aquele de energia mais baixo, para isto o elétron tem que liberar certa quantidade de energia que tem excesso, o qual é liberado na forma de um fóton de raio-X. Este fenômeno e chamado de **radiação característica**, que esta representada na figura 2.2 já que essa energia das camadas é particular de cada elemento. Porém as chances deste fenômeno ocorrer não são muito grandes.

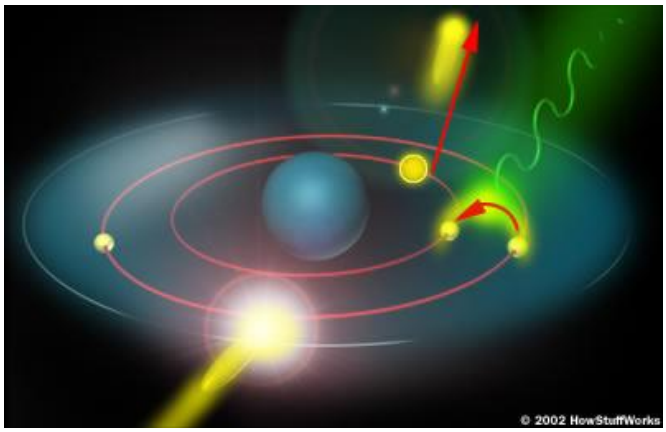

Fig. 2.2 radiação característica (http://ciencia.hsw.uol.com.br/raios-x2.htm)

O outro método de produzir os raios-X é conhecido como **Bremsstrahlung** que significa radiação de freio, que esta representada na figura 2.3 ’’ O elétron é atraído para o núcleo e, com isto, é desviado de sua direção original. “Assim, o elétron perde energia e é retardado quando varia de direção” (LENDERMAN, 2006, p.8). Ao serem acelerados os elétrons ganha alta energia cinética fazendo com que os elétrons se aproximem do núcleo dos átomos-alvo que automaticamente é atraído por ele. Como os mesmo se encontram em alta velocidade, sofre apenas um encurvamento na sua trajetória, o elétron diminui a sua velocidade, devido a interações eletromagnéticas com a substância do alvo, normalmente uma placa de Tungstênio. Assim perde uma parte de sua energia cinética, que gera a emissão de um pulso de radiação eletromagnética, ou seja, fótons de raios-X.

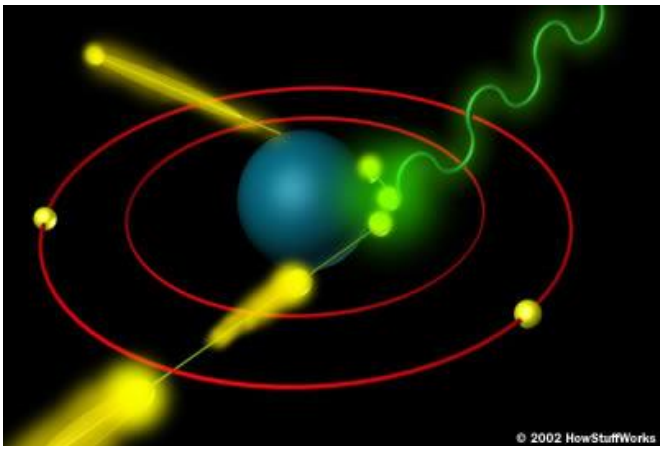

Fig. 2.3 radiação de freio (http://ciencia.hsw.uol.com.br/raios-x2.htm)

Os raios-X produzidos no interior da ampola são formados por ondas eletromagnéticas que possuem freqüência e intensidades variadas. As maiores partes da energia cinética dos raios catódicos são perdidas na forma de calor que é de 99% e apenas 1% dela são convertidas em raios-X.

2.1.1 – O RAIO-X E A MATÉRIA

Durante a realização de uma radiografia o raio-X se interage com os elementos químicos do organismo do paciente de duas forma, o efeito fotoelétrico e o efeito Compton.

O efeito fotoelétrico é quando o fóton de raio-X atinge um elétron de um átomo, o mesmo absorve a energia dessa radiação deslocando-o de sua camada, assim o átomo fica ionizado. Neste processo toda a energia do fóton é absorvida pelo elétron. Os efeitos ocorrem mais em materiais muito densos, o efeito varia de acordo com o número atômico do elemento. Como podemos ver na figura 2.4.

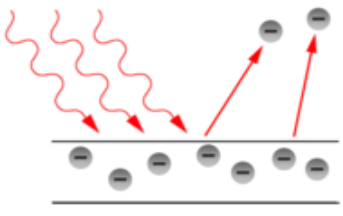

Fig. 2.4 – Efeito fotoelétrico (http://2.bp.blogspot.com)

O efeito Compton no caso que estamos analisando, o fóton aproxima-se do átomo, choca-se com um elétron podendo ou não arrancá-lo de sua camada, o qual depende da

energia envolvida no processo, o mais importante é que o fóton não cede toda a sua energia e o mesmo é desviado de sua trajetória que se pode ver na figura 2.5. Nesta nova trajetória ele pode interagir com outros átomos e sofrer novo desvio de sua trajetória. Deste modo, a trajetória deste fóton não é retilínea. Como a obtenção das imagens de raio-X dependem da diferença de densidade entre as diversas estruturas, e do arranjo linear entre a fonte e o local de detecção, uma trajetória não retilínea resulta em um prejuízo na interpretação das diferenças de densidade e barramento do contorno.

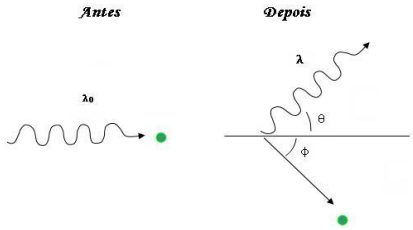

Fig. 2.5 – Efeito Compton (http://upload.wikimedia.org)

2.1.2 – FORMAÇÃO DE IMAGEM DA CHAPA DE RAIO X

O processo de obtenção da imagem de radiografia convencional depende dos fótons resultantes que se interagem com os tecidos do paciente. O feixe de raio-X terá vários obstáculos, podendo ser absorvido em maior ou em menor quantidade, de acordo com a densidade, espessura e o número atômico da região. Assim materiais densos como os metais absorvem mais os raios-X, pois têem um número atômico mais alto. Por outro lado, o ar, com densidade atômica e número atômico baixos não absorvem os raios-x.

Ao atravessar o paciente, o raio incide sob um filme semelhante ao filme fotográfico, o mesmo é composto por sais de Prada (AgBr, AgI), o qual é sensibilizado pelo fóton incidente, o cátion de prata (íon positivo) acaba sendo neutralizado e vira um metal (Ag^0), e escurece, por outro lado o sal que não foi afetado pelo fóton fica transparente, a princípio invisível a olho nu, somente ao ser revelada que iremos ver a imagem formada, e perceber as diferentes tonalidades que variam de preto e o branco. ”as regiões negras foram aquelas que receberam maior quantidade de radiação dos raios e o tempo de exposição..., as regiões mais claras representam estruturas mais densas e mais espessas.” (OLIVEIRA, 2004, p. 301).

Assim podemos concluir que as regiões mais claras são as de estruturas de maior densidade e espessas, por absorver mais os raios-X, como os ossos, por outro lado as regiões

escuras são as que menos absorvem o raio como as gorduras, água e ar, com podemos ver na figura 2.3.

Fig. 2.6 radiografia do tórax, quadril e crânio HTTP ://www.discoverybrasil.com

2.2 – TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

A tomografia computadorizada é uma forma de exame corporal, o qual nos fornece radiografias em cortes transversais do corpo, sem imagens confusas ou sobrepostas. Anteriormente as radiografias convencionais ofereciam apenas um número pequeno de dados, hoje com a tomografia pode reproduzir a anatomia detalhadamente.

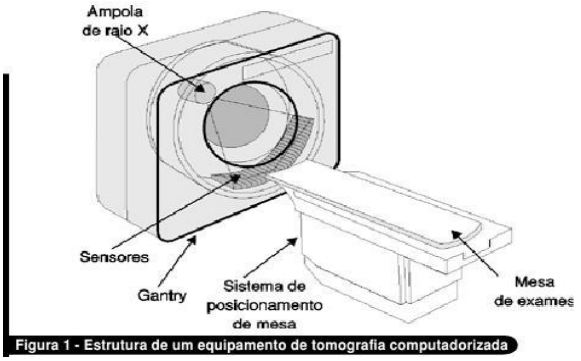

Fig. 2.7 – equipamento de tomografia (http://sabereletronica.com.br)

O exame se baseia em um feixe de raio-X fino, o qual atravessa o corpo do paciente e se colide com um sistema de detectores eletrônicos constituídos por uma câmera de ionização de gás, que fica alinhados e colocados em oposição, o detectores são muito sensíveis que os filmes de raio-X convencionais. O tubo se move num sentido, quando o filme radiográfico se move no sentido oposto, de forma sincronizada em um arco chamado de gantry ao redor do paciente a figura 2.7 representa o equipamento de tomografia. "... a capacidade de algoritmos computadorizados, utilizando dados digitalizados obtidos através dos detectores, criando imagens tomográficas axiais do corpo em estudo." (PISCO, 1999 p. 69). Os detectores convertem o feixe que sai da outra extremidade do corte em pulsos

elétricos amplificados, que são digitalizados e enviados para o computador simultaneamente através de um sistema múltiplo.

A ampola de raio-X junto com os detectores gira em torno do paciente fazendo um ângulo de 360°, o mesmo é submetido a uma série de exposição em média de 300 a 600 ângulos diferentes, uma espécie de varredura, como a imagem é feita através da reconstrução destas exposições como mostra a figura 2.8, quanto maior o número melhor será a imagem, onde as tonalidades das radiografias vão variar entre o branco e o cinza, depender da quantidade de raio-X é absorvida pelo o tecido examinado.

Fig. 2.8 – tomografia de uma fatia de um fígado (http://saude.hsw.uol.com.br

Atualmente há vários tipos de tomógrafo convencional ou simplesmente, tomografia computadorizada, tomografia computadorizada helicoidal, tomografia computadorizada "multi-slice" e tomógrafos mais sofisticados, como "ultra-fast" e "cone-beam". Porém a tomografia computadorizada é que oferece uma imagem mais nítida.

2.3 – OUTRAS CONTRIBUIÇÕES

As contribuições mais importantes dos raios-X têm sido no mundo da medicina, também vem desenvolvendo um papel crucial em outras áreas. Os raios-X são essenciais na pesquisa envolvendo a teoria da mecânica quântica, cristalografia e cosmologia. Na indústria, scanners de raio-X são muito usados para detectar pequenas falhas em equipamentos de metal pesado. Os scanners de raio-X se tornaram também equipamentos padrão na segurança em aeroportos.

3 - EQUIPAMENTOS NÃO INVASIVOS

Os equipamentos não invasivos são aqueles que não apresentam nenhum tipo de raio ionizante, assim nos fornecendo não só um exame de qualidade, mas com segurança, embora este equipamento contenha estas vantagens eles também podem ter desvantagens ou efeitos colaterais. Iremos analisar como são formados os equipamentos e o seu funcionamento, e quais os pontos fracos do ultra-som e da ressonância magnética.

3.1 - ULTRA-SOM

A ultra-sonografia é um método de diagnóstico que usa a reflexão das ondas sonoras de alta freqüência, o qual é uma vantagem por não ser um método invasivo, que produz imagem em tempo real. Mas antes de falar do equipamento e seu funcionamento, ou como é formada a imagem pelo o ultra-som é interessante comentar alguns fenômenos físicos que estão presente durante a realização do exame.

Som – pode se classificar em ondas mecânicas e ondas não mecânicas. A que vamos utilizar é a onda mecânica. São ditas mecânicas por que necessitam de um meio material para a sua propagação, o qual é possível quando contem uma fonte vibrante que faz com que as partículas do meio vibrem como na figura 3.1. As ondas sonoras não transportam matéria, ou seja, não há deslocamento de partículas, apenas uma compressão e rarefação voltando à posição inicial.

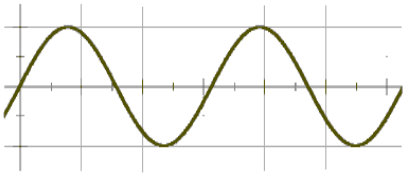

Fig. 3.1 – onda (http://fisica-acustica.blogspot.com)

Efeito piezoelétrico – é a capacidade de alguns materiais como o cristal de quartzo e certas cerâmicas ao receber uma corrente elétrica começam a vibrar em uma determinada freqüência, e quando submetida a uma pressão mecânica o transforma em pulsos elétricos.

Efeito Doppler – se refere à mudança da freqüência sonora quando o som atinge um objeto em movimento. Se ambos estiverem indos de encontro, a frequência recebida será maior que a emitida, por outro lado, se ambos estiverem se afastando, a freqüência recebida

será menor do que a que foi emitida. A alteração da freqüência depende de quão rápido o objeto se move como esta ilustrada na figura 3.2. Com este efeito pode se fazer uma avaliação cardíaca, pois o mesmo fornece detalhes dos vasos sanguíneos do corpo.

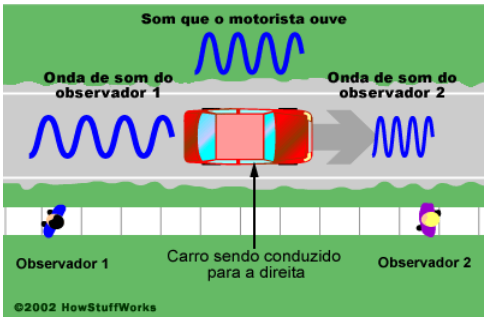

Fig. 3.2 – efeito Doppler (http://desastresaereos.net)

3.1.1 – EQUIPAMENTO E FORMAÇÃO DE IMAGEM POR ULTRA-SOM

O equipamento de ultra-som é formado por um transdutor que quando passa uma corrente elétrica começa a vibrar e assim produzindo ondas sonoras de alta freqüência, que varia de 1 a 5 MHZ, lembrando que as ondas sonoras não são contínuas. O transdutor só vibra cerca de 1% do tempo o restante do tempo e para receber os ecos refletidos.

Estas ondas são transmitidas para o interior do corpo que se dirige a região a qual se desejam, as mesmas se deslocam até atingir um determinado limite entre os tecidos uns mais perto outros mais longe e logo são refletidos de volta em forma de ecos, as quais são captadas pelo transdutor que em se quita transforma as ondas em pulsos elétricos a qual transferida para a unidade de processamento central (CPU), que tem a função de calcular a distância entre o transdutor e o tecido, usando a velocidade do som no tecido. Assim que os dados brutos são processados, a CPU forma a imagem no monitor o qual podemos ver na figura 3.4. "... o cálculo da distância que fica o objeto do transdutor é feita baseada no tempo que a onda leva para ir até o objeto, refletir e retornar ao transdutor... quanto maior o tempo que o som demorar a retornar, mais distante estará o objeto. "(ROCHA., 1993 p.3).

Existem duas formas diferentes de representar os impulsos elétricos que são emitidos pelo transdutor que são o MODO A e o MODO B.

MODO A – neste método é transformado em profundidade os ecos que demora mais tempo para retornar, em quanto às ondas sonoras que retornam mais rápido são as que vão determinar a superfície. Este método atualmente não é mais usado para diagnósticos.

MODO B – diferente do MODO A, o transdutor transforma as reflexões de maior intensidade em pontos luminosos no monitor, como podemos ver na figura 3.1.

Fig. 3.3 Imagem por ultra-som de um feto em crescimento. (http://saude.hsw.uol.com.br)

Fig. 3.4 – Realização do ultra-som (http://unicamp.br)

3.1.2 - ULTRA-SOM 3D

Foi desenvolvido nos últimos dois anos o equipamento de ultra-som 3D o qual forma imagens em 3 dimensões. Para a formação das imagens são captados os movimentos das sondas ao longo da superfície do corpo, fazendo um tipo de varredura que é combinado por um software de computador especializado por formar imagens 3D, como podemos constatar na figura 3.5.

As imagens formadas são de melhor visualização do órgão que esta sendo examinado.

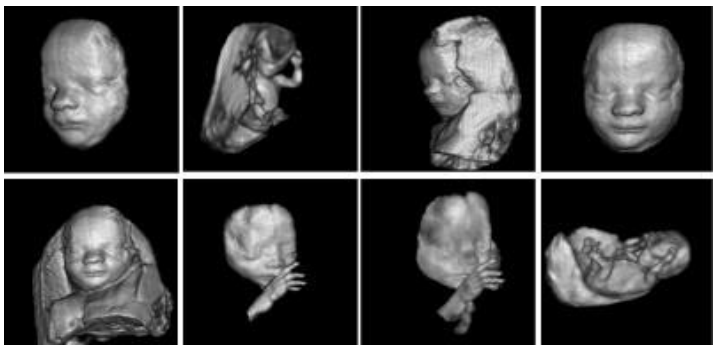

Fig. 3.5 – ultra-som 3D (http://saude.hsw.uol.com.br)

3.1.3 - OS PERIGOS DO ULTRA-SOM

Apesar de ser um equipamento que não usa raios ionizantes, o ultra-som pode apresentar alguns efeitos adversos.

Os efeitos possíveis são a cavitação, que é a formação de cavidades ou bolhas no líquido, formando uma quantidade variável de gás ou vapor, causado em razão do calor do ultra-som, podendo alterar as células biológicas estruturalmente e ou funcionalmente. O gás pode juntar e formar bolas com radicais livres que poderá alterar os reativos causando uma mudança química no organismo. O outro efeito é o térmico, que é causado por que os tecidos ou água do organismo absorvem a energia do ultra-som, causando assim um aumento da temperatura.

3.2 - RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Os núcleos dos átomos são formados por prótons e nêutrons, todos os prótons contem um momento magnético dipolar μ a qual esta associada a um momento angular intrínseco $\vec{S}$ do núcleo, que e denominado de spin nuclear. Devido a estes fatores o núcleo apresenta propriedades idênticas a pequenos magnetos. Quando colocando uma quantidade de átomos em um ambiente natural se movimenta de forma aleatória, com isto a soma correspondente a uma magnetização é nula.

Porém se submetendo a mesma quantidade de átomo a um campo magnético uniforme $\vec{B}$, tente a se alinhar paralelo ao campo, os prótons em sua grande maioria assumem um estado de menor energia, podendo passar para um estado de maioria se absorver o fóton, a este fenômeno da se o nome de ressonância magnética.

3.2.1 - O EQUIPAMENTO E A FORMAÇÃO DE IMAGEM POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

O equipamento de ressonância magnética, em sua grande maioria tem a mesma aparência de um cubo gigante, que tem cerca de dois metros de altura e dois metros de largura, por três metros de comprimento. Tem um tubo na horizontal por onde atravessam o

magneto ou ímã, do início até o fim do cubo, o cubo é uma espécie de vão como podemos ver na figura 3.6. O paciente deita de costas sobre uma mesa especial a qual vai deslizar para dentro do vão, quando a parte que vai ser examinada atingir o cento do cubo começa o exame. Dentro do cubo tem uma bobina que emite ondas de rádio de baixa freqüência, onde há também detectores que registram as ondas emitidas pelo paciente e enviam a um computador.

Fig. 3.6 – equipamento de ressonância magnética (http://fsc.ufsc.br)

O diagnóstico por ressonância magnética, atualmente se baseia na formação de imagem dos átomos de hidrogênio encontrados nas gorduras e nas moléculas de água que são encontrados com abundância em nosso corpo, e por possuir o mais intenso sinal de ressonância magnética. "... o sinal do hidrogênio (água) é cerca de mil vezes superior a quaisquer dos outros núcleos atômicos com momento magnético semelhantes." (PISCO 1999 p.76).

Assim que o paciente entra no vão ele é submetido a um campo magnético muito poderoso que varia de 0,06 T a 2,00 T, faz com que os prótons assumam o ângulo de rotação igual ao do campo como uma bússola, esta nova rotação é dita de estado de baixa energia. "Quando submetemos a amostra de núcleos ao campo magnético B_0... o torque induzido pelo campo induz os momentos magnéticos microscópio a girarem em torno da orientação do campo tal como um pião gira em torno do eixo do campo gravitacional da terra." (LENDERMAN, 2006, p.2).

Durante o exame é dirigido ao paciente onda de rádio de baixa freqüência, o núcleo do átomo absorve as ondas, aumentando a energia do mesmo de forma significativa o suficiente para que possa voltar a sua rotação original. Quando encerrada a emissão das radiofreqüências faz com que os átomos voltem a se alinhar com o campo magnético, e quando isto acontece o mesmo irá liberar as ondas absorvidas durante o processo, e os detectores irão captarem estas ondas e enviarem para o computador analisar e para produzir a imagem.

O tempo que o átomo de hidrogênio leva para relaxar é o tempo que ele gasta para voltar ao equilíbrio, com o campo são reconhecidos dois tempos de relaxamento: o T1 que é o tempo do relaxamento longitudinal e o T2 que é o tempo de relaxamento transversal.

Para a formação os tecidos corporais emitem sinais de ressonância magnética o que vai distinguir se eles vão aparecer em branco ou em preto a imagem. Sendo que,os que emitem ressonância magnética com mais intensidade irão aparecer em branco e os que emitem com menor intensidade ou nenhuma serão os que apresentarão em preto. Os ossos geralmente apresentam-se em pretos, enquanto as gorduras aparecem brilhantes, o que podemos constatar na figura 3.7.

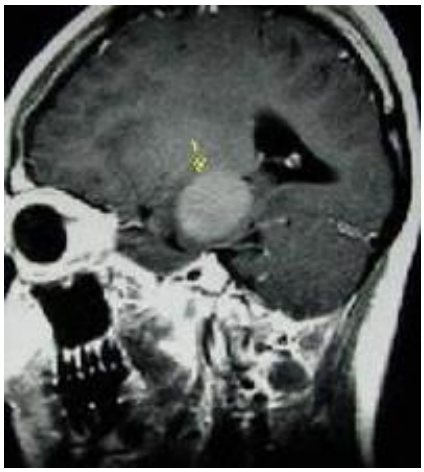

Fig. 3.7 Crescimento do tumor em um cérebro feminino, (http://saude.hsw.uol.com.br)

3.2.2 - DESVANTAGEM DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Embora este tipo de exame não usa nenhum tipo de raio ionizante, ele apresenta alguns pontos fracos, sendo contra indicado as pessoas que possuem determinados problemas de saúde sendo eles: doentes com pacemakers, doentes que estão em estado crítico, ventilados, doentes claustrofobia ou ansiosos, doentes extremamente obesos e aqueles que contem estruturas ferromagnéticas em seu corpo.

4 – **ELETROCARDIOGRAMA**

O fato do coração apresentar atividades elétricas é por causa de uma determinada quantidade de íons de sódio que estão presentes dentro e fora das células do miocárdio. Devido a uma variação cíclica vem por gerar uma diferença desta concentraçao determinados ions na parte periférica do corpo, como os eletrodos sao sensível ao seresm colocados em pontos bem específicos do nosso corpo, e cabam por registrar estas atividades elétricas.

Estes potenciais são gerados a partir da despolarização e repolarização das células cardíacas. O equipamento usado para registrar as variações do potencial geradas pelas atividades elétricas do coração, é constituído por eletrodos, amplificador e registrador.

Os eletrodos são formados por uma pequena placa de metal que são fixadas sobre a pele limpa com gel de condução, são escolhidos pontos específicos, pré-determinados e padronizados, normalmente são escolhidos cinco pontos o qual esta representada na figura 2.2.

Como o sinal que vem do corpo inicia sendo amplificado, devido este sinal é muito pequeno e fraco, variando entre 0,5V e 5,0V, o mesmo contem uma entrada capacitiva balanceada, ou seja, apenas as voltagens que variam com o tempo são amplificadas. Estes valores são regulados pelo próprio fabricante para quando chegar sinais de mesma amplitude em fase para que possam ser canceladas.

O registrador é formado por uma pena que se move quando é aquecido eletricamente, estes registros do potencial elétrico e em forma de ondas, é que geralmente são registrados em papel quadriculado. Como esta sendo representado através da figura 4.1.

Devenos sempre levar em conta que esses resultados devem ser analisados pelo cardiologista, pois muitas vezes esses aparelhos podem haver erros no algoritmo de diagnóstico.

Fig. 4.1 registros do potencial elétrico (http://www.virtual.epm.br)

Fig. 4.2 – realização do eletrocardiograma (http://eletronica.com)

CONCLUSÃO

O homem sempre foi curioso para estudar seu próprio corpo, no entanto, nem sempre conseguiu avançar seus estudos, limitado pelo fato de não ter como verificar o funcionamento do mesmo em elementos vivos. O máximo que se conseguia era verificar os órgãos internos após o elemento estar morto e isto limitava seus conhecimentos, não era possível acompanhar etapas de uma determinada alteração do problema que o elemento estava acometido, por exemplo. Para superar estas limitações, era necessário conseguir meios de ver através do próprio corpo humano, sem que fosse necessário abrí-lo e com o elemento ainda em vida.

Os estudos iniciais eram precários e aparentemente insignificantes, mas os resultados são nos dias atuais imensamente importantes para a humanidade.

A física é uma ciência moderna, no entanto, nota-se que adquiriu relevada importância até mesmo na medicina, e foi ela quem deu à medicina suporte para este avanço atual. Da Vinci já era um grande estudioso dos fenômenos físicos, e estudou tal comportamento nos seres humanos, sendo assim considerado o primeiro físico a estudar a física aplicada ao corpo humano, os estudos avançaram e com a ajuda de cientistas que muitas vezes comprometeram a própria saúde para adquirir o conhecimento, pode-se hoje obter os métodos modernos de estudos do corpo humano interior com o elemento vivo e de forma que cause os menores danos ao mesmo.

Os aparelhos estudados dão uma idéia da grandiosidade da importância da física para a medicina moderna. Estudos sobre comportamento eletromagnético, reflexão, ondas, acústica, física moderna entre outros, permitem ao homem moderno estudar doenças, antevê-las e curá-las, coisa impensável há poucos séculos.

Resta à humanidade continuar evoluindo de forma consciente para alcançar objetivos maiores e melhorar cada vez mais sua forma de vida no planeta Terra.

BIBLIOGRAFIA

ALMANARQUE, Mundo invisível 2003, Disponível em: http: //www.2020brasil.com.br/publisher/preview.php?eticao=0703&it_mat=309# Dia 7 de maio de 2009

D. PARIETE. Et al. Diagnóstico por imagem em ressonância magnética 2°Ed. Rio de Janeiro, Mensi

ENSICLOPÉDIA ILUSTRADA DO ESTUDANTE 1°Ed. São Paulo. Globo 1995

FREUDENRICH, Craig, como funciona o ultra-som, Disponível em http://saude.hsw.uol.com.br/ultra-som.htm Dia 7 de maio de 2009

GARCIA, Eduardo A. C. Biofísica 1°Ed. São Paulo. Sarvier, 2002

GOULD, Todd, como funciona a geração de imagens por ressonância magnética, Disponível em: http://wwwsaude.hsw.uol.com.br/ressonancia-magnetica.htm Dia 8 de agosto de 2009

GUERISOLI, Danilo M. Z., ultra-som, Disponível em: http://www.forp.usp.br/restauradora/us01.htm Dia 25 de março de 2009

HARRIS, Tom, Como funciona os raios X. Disponível em: http: //www.ciencia.hsw.uol.com.br/raio-x.htm Dia 25 de março de 2009

HARRIS, Tom, Como funciona a tomografia computadorizada. Disponível em: http://www.saude.hew.oul.com.br/tomografia-computadorizada.htm Dia 7 de maio de 2009

LEDERMAN, Henrique M. Técnicas radiográficas 1ºEd. Rio de janeiro Guanabara Koogan 2006

LEE, Joseph K. T. et. al. Tomografia computadorizada do corpo em correlação com ressonância magnética 3ºed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2001

LEITE, Claudia da Costa et. al. Física básica da tomografia computadorizada Disponível em: http//www.hcnet.usp.br/

MACIEL, Rubens, História da Biomecânica. Sociedade brasileira de cardiologia. Disponível em http: //www.publicacoes.cardiol.br/caminhos/015/default.asp Dia 25 de março de 2009

MAGALHÃES, Álvaro C. de A. Ressonância magnética do sistema nervoso central 1ºEd. São Paulo, Atheneu 1999

NOVELLINE, Robert A., Fundamentos de radiologia de Squire, 5ºed. Porto Alegre, ARTMED,2003

OLIVEIRA, Jarbas R. de, Biofísica para ciências biomédicas, 2ºed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2004

OKUNO, Emico, Física para ciências biológicas e biomédicas, 1ºed. São Paulo, Harbra, 1982

PISCO, João M.; SOUZA, Luis A. de. Noções fundamentais de imagiologia 1°Ed. Lisboa, Lidel, 1999

RESENDE, Célia M. C., Artefatos em ultra-sonografia e suas bases físicas, 1ºed. Rio de Janeiro, Revinter, 1988

ROCHA, Domingos C. da, CERRI, Giovanni G., Ultra-sonografia abdominal: convencional, Doppler, técnicas endoscópicas, 1ºed. São Paulo, Sarvier, 1993

SABBATINI, Renato M. E. A História da Neuroimagem, Revista Cérebro & Mente, publicado em 21 de abril de 2003

SANDERS, Roger C., Ultra-Sonografia: guia pratico, 3ºed. Rio de Janeiro, Revinter 2004

SUTTON, David, Radiologia e imaginologia para estudantes de medicina, 7 ºed. São Paulo, Manole, 2000

UNIVERSIDADE Federal de Sergipe. Sergipe 2007 disponível em: (http://fisicamedica.net). Acessado 4 de dez. 2009

UNIVERSIDADE de São Paulo. São Paulo 2006 disponível em:(http://cdcc.usp.br). Acessado 4 de dez. 2009

A ENCICLOPÉDIA livre. São Francisco 2003 disponível em: (http://upload.wikimedia.org). Acessado 4 de dez. 2009

SIMPÓSIO de instrumento de imagem médica São Paulo 2005 disponível em: (http://lapimo.sel.eesc.usp.br). Acesso 4 de dez. de 2009

A ENCICLOPÉDIA livre. São Francisco 2003 disponível em: (http://pt.wikipedia.org). Acessado 4 de dez. 2009

HOW stuff works Carolina do Norte 1998 disponível em: (http://ciencia.hsw.uol.com.br). Acessado 4 de dez. 2009

F O R S I G N São Paulo 2008disponível em: (http://2.bp.blogspot.com). Acessado 4 de dez. 2009

SABER eletrônica on-line, São Paulo 2006 disponível em: disponível em: (http://sabereletronica.com.br). Acessado 4 de dez. 2009

FÍSICA – ACUSTICA São Paulo 2006 disponível em: (http://fisica-acustica.blogspot.com). Acessado 4 de dez. 2009

DESASTRE aéreo São Paulo 2006disponível em: (http://desastresaereos.net). Acessado 4 de dez. 2009

UNIVERSIDADE Estadual de Campinas São Paulo 1994 disponível em: (http://unicamp.br). Acessado 4 de dez. 2009

UNIVERSIDADE Federal de Santa Catarina. Santa Catarina 2007 disponível em: (http://fsc.ufsc.br). Acessado 4 de dez. 2009

UNIFESP virtual. São Paulo 1997 disponível em: (http://virtual.epm.br). Acessado 4 de dez. 2009

ELETRONICA São Paulo 2008 disponível em: (http://eletronica.com). Acessado 4 de dez. 2009