



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1004536-8 B1



(22) Data do Depósito: 14/09/2010

(45) Data de Concessão: 03/11/2021

(54) Título: MÉTODO DE ANÁLISE DAS IMAGENS DIGITAIS OBTIDAS DE UMA COLUNA VERTEBRAL

(51) Int.Cl.: A61B 5/103.

(73) Titular(es): MIOTEC EQUIPAMENTOS BIOMÉDICOS LTDA - ME.

(72) Inventor(es): FABIANO PIRES ERGONI; TIAGO DE MENEZES ARRIAL.

(57) Resumo: PROCESSO E EQUIPAMENTO PARA DIAGNÓSTICO DA COLUNA VERTEBRAL. A invenção refere-se a um processo e a um equipamento para diagnóstico da coluna vertebral que emprega um sistema de projeção e uma câmara para captação da imagem projetada nas costas do paciente. O equipamento compreende um gabinete (1) com uma CPU interna dedicada, um monitor de LCD (2) e uma torre de altura ajustável (3) para adequação à estatura do paciente. A torre (3) possui um botão de liga-desliga (4), um projetor de DLP (5) e uma coluna (6) com uma câmara receptora (7) em seu topo. Integram o equipamento um teclado (8), um mouse (9) e uma impressora (10). O equipamento possui um diagrama que compreende a unidade computacional (11) conectada através de porta USB (12) a um mouse (9) e um teclado (10). Duas saídas de vídeo (13) são previstas na CPU (11) para, simultaneamente, conectar o projetor multimídia (5) e o monitor de vídeo (2). A CPU (11) possui uma entrada de dados que é uma câmara digital (7) do tipo firewire (14). O processo para diagnóstico da coluna vertebral do ser humano consiste da seguinte sequência de etapas: - projeção de marcadores através de um projetor do tipo DLP para o correto posicionamento do paciente em relação ao equipamento; - projeção do padrão de luz no dorso do paciente; (...).

MÉTODO DE ANÁLISE DAS IMAGENS DIGITAIS OBTIDAS DE UMA COLUNA VERTEBRAL

CAMPO TÉCNICO

[001] A presente invenção se refere a um método de análise das imagens obtidas de uma coluna vertebral, permitindo abordar de forma qualitativa e quantitativa a topografia das regiões dorsal e lombar da coluna vertebral.

[002] O sistema (conjunto de hardware e software) permite ao profissional de saúde avaliar relevo, inclinação, curvatura e simetria, tendo as seguintes indicações:

- Rastreamento de desvios posturais em uma população de interesse;
- Avaliação inicial da assimetria e da deformidade de pacientes com desvio postural confirmado; e,
- Acompanhamento da evolução do tratamento, permitindo reduzir a quantidade de radiografias e fornecendo informação complementar quantitativa sobre a deformidade externa causada pelos desvios da coluna vertebral.

ESTADO DA ARTE

[003] O documento de patente US 2007/0171225 (WO 2005082249) descreve um sistema e um método de medição esquelético-muscular em 3D e análise funcional do corpo humano. Trata-se de um método baseado em computador para obtenção de um modelo esquelético-muscular de pelo menos uma superfície de parte do corpo humano a partir de uma série de imagens em 3D. O método compreende a detecção de informação da superfície anatômica em uma topografia da superfície na série de imagens em 3D e a reconstrução da estrutura interna baseada na informação da superfície anatômica detectada.

[004] A imagem pode ser obtida a partir de um método ótico tal

como a projeção de uma luz estruturada. Esse método apresenta os seguintes inconvenientes:

- Iluminação através de lâmpada incandescente branca e com retículo mecânico, que gera uma baixa qualidade da imagem projetada e captada, que dificulta a análise das imagens;
- Emprega um sistema analógico de iluminação que possui um tempo de vida pequeno, de no máximo 2.000 horas; e
- Utiliza técnicas de médias de aquisição para apresentar o resultado.

[005] A invenção emprega um equipamento aperfeiçoado que compreende um gabinete com uma CPU dedicada, um monitor de LCD e uma torre de altura ajustável a estatura do paciente. A torre possui um botão de liga-desliga, um projetor de DLP (digital light projetor) e uma coluna com uma câmera receptora em seu topo.

[006] Outro objetivo da invenção se refere ao processo de análise de diversos dados, obtidos a partir da captação da imagem projetada nas costas do paciente análise e resultado.

[007] A etapa de aquisição consiste em obter informações visuais úteis para o processo. Durante esta etapa, o padrão de luz é projetado utilizando um projetor multimídia e algumas fotos são efetuadas através de uma câmera digital. As informações obtidas no processo de aquisição processadas por algoritmos de triangulação 3D, gerando uma malha tridimensional regular. Essa malha é processada por uma sequência de técnicas matemáticas, onde o objetivo é obter informações pertinentes ao estudo da coluna.

[008] A etapa de análise compreende o tratamento das imagens digitais através de algoritmo específico para formação do modelo em 3D pela técnica de contagem de franjas e a consequente formação de triângulos e

[009] geração da nuvem de pontos 3D; geração de uma malha regular e detecção das características anatômicas do paciente, através de algoritmo.

[010] A etapa de resultado consiste na apresentação das características anatômicas mensuradas sob a forma de gráficos, tabelas e relatórios.

[011] O método de análise das imagens obtidas de uma coluna vertebral, objeto da presente invenção, resulta nas seguintes vantagens obre as concepções do estado da técnica:

[012] - iluminação utilizando DPL (digital light projetor) que e baseado em tecnologia digital (semicondutores) aliando performance com tempo de vida longo Com mais de 20.000 horas;

- Excelente qualidade de imagem;
- Imagens nítidas sem borrados ou desbotados; e,
- Imagens brilhantes que permitem a visualização até mesmo em salas iluminadas.

[013] O método de análise das imagens obtidas de uma coluna vertebral do ser humano, propostos pela invenção, passam a ser descritos detalhadamente com base nos desenhos em anexo, abaixo listados:

- FIGURA 1 perspectiva geral do equipamento;
- FIGURA 2 diagrama do equipamento;
- FIGURA 3 fluxograma do software;
- FIGURA 4 fluxograma do processo;
- FIGURA 5 imagem adquirida através da iluminação digital projetada no paciente;
- FIGURA 6 imagem adquirida e tratada pela binarização;
- FIGURA 7 imagem com identificação de franjas;
- FIGURA 8 imagem ampliada para cálculo da espessura das

francas;

- FIGURA 9 imagem com identificação da franja de referência;
- FIGURA 10 imagem do resultado final da decodificação com francas ordenadas por tons de cinza;
- FIGURA 11 imagem decodificada com a linha central de referência e as linhas em níveis horizontais conforme captadas;
- FIGURA 12 mapa de relevo do tronco de um paciente rodado para a direita; e
- FIGURA 13 mapa de curvatura do tronco de paciente sem alteração postural.

[014] A figura 1 ilustra o equipamento para aquisição de dados da coluna vertebral do ser humano que compreende um gabinete (1) com uma CPU interna dedicada, um monitor de LCD (2) e uma torre de altura ajustável (3) para adequá-lo à estatura do paciente. A torre (3) possui um botão de liga/desliga (4), um projetor de DLP (5) e uma coluna (6) com uma câmara receptora (7) em seu topo. Integram o equipamento um teclado (8), um mouse (9) e uma impressora (10).

[015] A figura 2 é um diagrama que detalha o equipamento para aquisição de dados da coluna vertebral do ser humano que compreende a unidade computacional (11) conectada através de uma porta USB (12) a um mouse (9) e um teclado (10). Duas saídas de vídeo (13) são previstas na CPU (11) para, simultaneamente, conectar o projetor multimídia (5) e o monitor de vídeo (2). A CPU (11) possui uma entrada de dados que é uma câmera digital (7) do tipo FireWire (14).

[016] A figura 3 ilustra o fluxograma do software de gerenciamento do equipamento. Um aplicativo (15) desenvolvido utiliza a linguagem C# (C# ou C Sharp), que é uma linguagem de programação

orientada a objetos desenvolvida pela Microsoft como parte da plataforma.NET; a sua sintaxe orientada a objetos foi baseada no C++, mas inclui muitas influencias de outras linguagens de programação, como Delphi e Java, comanda outros aplicativos através de um servidor COM (16). As funcionalidades matemáticas (18) foram desenvolvidas utilizando a linguagem LUA (17). Component Object Model (COM) é uma plataforma da Microsoft para componentes de software lançado em 1993. Ela é usada para permitir a comunicação entre processos e a criação dinâmica de objetos em qualquer linguagem de programação que suporte a tecnologia. O termo COM é frequentemente usado no desenvolvimento de software para se referir a um grupo de tecnologias que incluem OLE, OLE Automation, ActiveX, COM+ e DCOM. A unidade de negócio (15) interage com a interface vetorial 3D (19) e com o driver da câmara (7). A interface vetorial (19), por sua vez, se comunica com o projetor DLP (5) e a interface do usuário (2,8,9 e 10).

[017] A figura 4 ilustra o fluxograma com a sequência de etapas executadas no processo para análise de dados da coluna vertebral do ser humano.

[018] Os seguintes passos correspondem as etapas de aquisição:

- Projeção de marcadores através de um projetor do tipo DLP para o correto posicionamento do paciente em relação ao equipamento;
- Projeção do padrão de luz no dorso do paciente;
- Com a projeção em andamento o operador regula os parâmetros dos filtros em tempo real e parâmetros da câmera, por exemplo, intensidade;
- Verificação da qualidade do padrão de projeção obtido pela câmera através da imagem obtida; e
- Aquisição das imagens digitais do paciente.

[019] Os seguintes passos correspondem as etapas de análise:

- Tratamento e análise das imagens digitais através de algoritmo específico para formação do modelo em 3D pela técnica de contagem de franjas, a sua consequente formação de triângulos e a geração da nuvem de pontos em 3D;
- Análise e tratamento do modelo em 3D para geração de uma malha regular; e
- Detecção das características anatômicas do paciente através de algoritmo.

[020] A determinação dos resultados compreende:

- Apresentação das características anatômicas mensuradas sob a forma de gráficos, tabelas e relatórios;
- Apresentação de laudo para apoio ao diagnóstico clínico; e
- Armazenamento das informações em banco de dados cadastral.

DETALHAMENTO DA ANALISE DAS IMAGENS

DECODIFICAÇÃO - BINARIZAÇÃO DAS FRANJAS

[021] Entrada: Imagem adquirida com franjas e imagem adquirida sem franjas (branca).

[022] Saída: Imagem decodificada das franjas, onde cada tom de cinza representa uma franja especifica projetada.

[023] Na imagem com franjas e inicialmente aplicada uma binarização (threshold) por diferença para separar as linhas (franjas) brancas projetadas do fundo, seja da superfície das costas sem franjas ou o próprio pano de fundo da aquisição. Em seguida e aplicado um filtro mediano para remover possíveis ruídos da imagem. A figura 5 mostra a imagem adquirida (entrada) e a figura 6 mostra o resultado da binarização (saída).

IDENTIFICAÇÃO DAS FRANJAS

[024] Para se identificar cada franja na imagem, primeiro deve-se encontrar um pixel dentro de cada franja. Para tanto usa-se uma guia no qual percorre a imagem a partir do centro horizontal. Uma vez identificado um pixel na imagem, usa-se uma técnica chamada flood-fill, que consistem em um algoritmo usado para agrupar pixels adjacentes, usando uma vizinhança de 4 direções. Cada franja assume um tom de cinza. Nesta etapa, o tom de cinza de cada franja não apresenta uma ordem aparente. O resultado da identificação das franjas pode ser visualizado na figura 7.

CÁLCULO DA ESPESSURA DAS FRANJAS

[025] O cálculo da espessura de cada franja e resultado de uma média ponderada da quantidade de pixels em cada corte vertical de uma franja.

[026] A espessura das franjas e a média da espessura em todo o seu comprimento, conforme pode ser verificado na figura 8.

IDENTIFICAÇÃO DA FRANJA DE REFERÊNCIA

[027] A identificação da franja de referência faz uso de uma série de heurísticas. Na primeira etapa, a partir da lista de todas as franjas identificadas, cria-se uma lista de franjas de referência em potencial, filtrando-se as franjas que apresentem franjas vizinhas com espessura inferior a franja em questão. A partir dessa lista se cria um novo índice para cada franja de referência em potencial, no qual considera a sua espessura e a espessura de suas franjas adjacentes. Ordenando-se essa lista usando o novo índice calculado, a primeira ranja dessa lista e considerada a franja de referência. A figura 9 mostra a identificação da franja de referência.

ORDENAÇÃO DAS FRANJAS

[028] Uma vez encontrada a franja de referência, enumera-se as franjas vizinhas conforme o grau de adjacência da franja de referência. A figura mostra o resultado final da decodificação franjas ordenadas por tons

de cinza, sendo a franja de referência a com tom de cinza 128.

TRIANGULAÇÃO

[029] Entradas: Imagem decodificada e coordenadas dos marcadores.

[030] Saídas: Nuvem de pontos com origem no plano de calibração.

[031] Calcula as coordenadas das franjas na imagem decodificada por triangulação.

KRIGING

[032] A partir da nuvem de pontos de entrada se calcula uma rede de pontos regular espaçados linearmente através de um processo matemático conhecido, chamado de kriging.

[033] Entradas: Nuvem de pontos.

[034] Saídas: Nuvem de pontos espaçados linearmente nas coordenadas X e Y.

LINHAS DE SIMETRIA

[035] Apesar de não ser possível a estimativa precisa da posição da coluna vertebral a partir dos contornos da região dorsal, a maioria dos desvios provocados pela escoliose apresenta uma correlação razoável com a linha de simetria.

[036] A linha de simetria é formada pela combinação do ponto de simetria de cada nível horizontal. Esse ponto é calculado matematicamente, sendo definido como aquele em que há a menor diferença de contorno e de curvatura em ambos os lados de cada nível horizontal, e é uma boa aproximação da localização dos processos espinhosos conforme seriam localizados por palpação. Um exemplo de linha de simetria pode ser visualizado na figura 11. A linha de simetria percorre todo o comprimento do dorso. As linhas de níveis horizontais são ilustradas conforme captados

pela estereografia.

[037] No equipamento as vistas posterior e lateral da linha de simetria são exibidas nos dois primeiros gráficos do painel de gráficos. Nesse painel, podem ser localizados visual mente os pontos de inflexão para o cálculo dos ângulos de cifose e lordose, na vista lateral, bem como os pontos de inflexão para o cálculo dos ângulos da escoliose, caso seja necessário, na vista frontal.

[038] Os resultados oriundos das análises realizadas são apresentados através de mapas de cor, que permitem visualizar de forma natural a distribuição desses valores na superfície dorsal.

[039] O relevo da região dorsal pode ser representado através de curvas de nível e de gradações de cor, assim como a superfície da Terra tem seus contornos representados em um mapa, no equipamento convencionou-se que o nível zero seja um plano frontal que passa pela primeira vertebra sacral (51) ao nível da pele. Os pontos mais posteriores a esse plano são apresentados em cores quentes (amarelo e vermelho), enquanto os pontos mais anteriores são apresentados em cores frias (ciano e azul).

[040] A curvatura representa o grau de concavidade ou de convexidade de cada ponto da superfície. As regiões mais convexas ("saliências") são apresentadas em cores quentes (amarelo e vermelho), enquanto as regiões mais côncavas ("reentrâncias") são apresentadas em cores frias (ciano e azul).

[041] A figura 12 ilustra um mapa de relevo típico de uma pessoa normal, mostrando que o tronco esta rodado para a direita (a escapula direita está bem mais proeminente).

[042] A figura 13 ilustra um mapa de curvatura de um paciente sem alteração postural, onde: proeminência escapular, em vermelho (23);

sulco medial a escapula, em azul (24) e sulco mediano da região dorso-Lombar, em azul, sendo visualizadas algumas impressões dos processos espinhosos em azul claro (25).

REIVINDICAÇÃO:

1 - MÉTODO DE ANÁLISE DAS IMAGENS DIGITAIS OBTIDAS DE UMA COLUNA VERTEBRAL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por consistir o tratamento e análise das imagens digitais nas seguintes operações:

- binarização das franjas - binarização (threshold) por diferença para separar as linhas (franjas) brancas projetadas do fundo, seja da superfície das costas sem franjas ou o próprio pano de fundo da aquisição, sendo em seguida aplicado um filtro mediano para remover possíveis ruídos da imagem;

- identificação das franjas - encontrar um pixel dentro de cada franja usando-se uma guia na qual percorre a imagem a partir do centro horizontal, a seguir se usa a técnica de flood-fill que consiste em um algoritmo usado para agrupar pixels adjacentes, usando uma vizinhança de 4 direções;

- cálculo da espessura das franjas - por média ponderada da quantidade de pixels em cada corte vertical de uma franja, sendo a espessura das franjas a média da espessura em todo o seu comprimento;

- identificação da franja de referência - através de uma série de heurísticas, sendo que na primeira etapa, a partir da lista de todas as franjas identificadas, cria-se uma lista de franjas de referência em potencial, filtrando-se as franjas que apresentem franjas vizinhas com espessura inferior a franja em questão; a partir dessa lista se cria um novo índice para cada franja de referência em potencial, no qual considera a sua espessura e a espessura de suas franjas adjacentes e ordena-se essa lista usando o novo índice calculado, a primeira franja dessa lista é considerada a franja de referência;

- ordenação das franjas - enumeração das franjas vizinhas

conforme o grau de adjacência da franja de referência, sendo que o resultado final da decodificação são franjas ordenadas por tons de cinza;

- triangulação - cálculo das coordenadas das franjas na imagem decodificada por triangulação obtendo-se uma nuvem de pontos;

- cálculo da rede de pontos regular espaçados linearmente - através do processo matemático denominado de kriging;

- definição da linha de simetria - pela combinação do ponto de simetria de cada nível horizontal que é calculado matematicamente, sendo definido como aquele em que há a menor diferença de contorno e de curvatura em ambos os lados de cada nível horizontal.

FIGURA 1

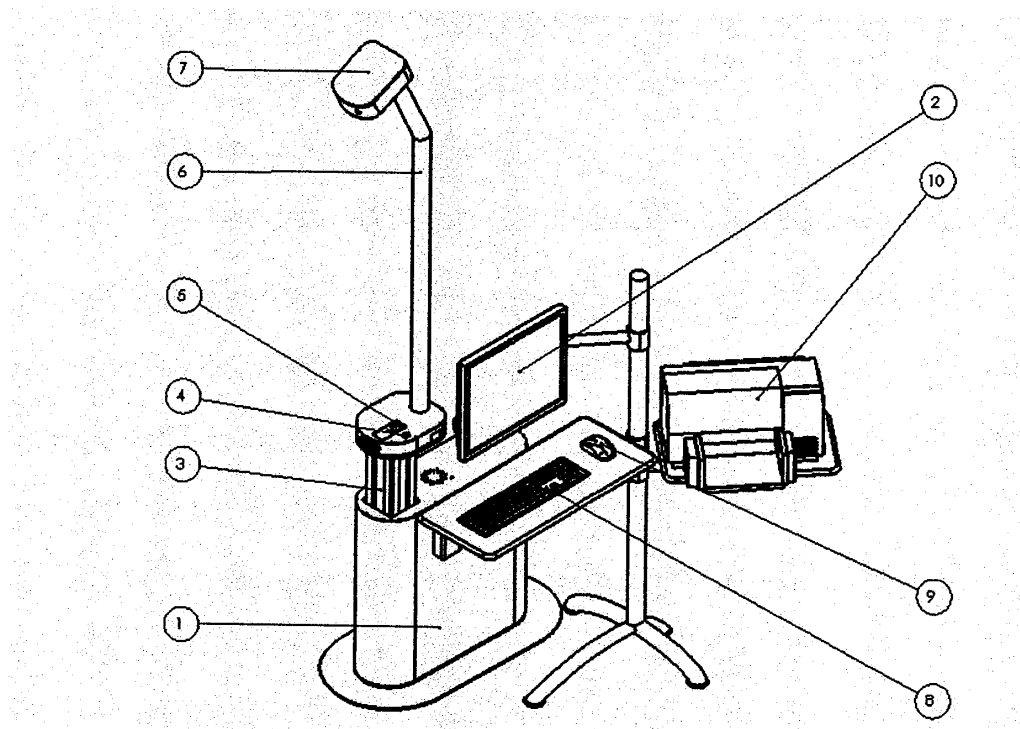


FIGURA 2

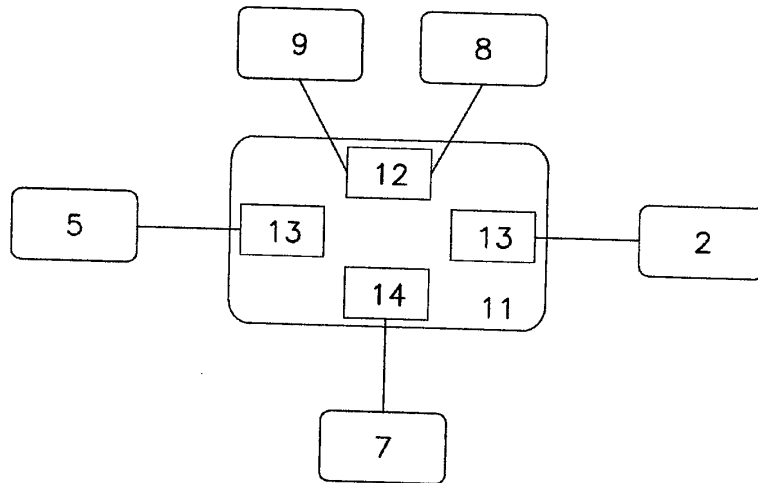


FIGURA 3

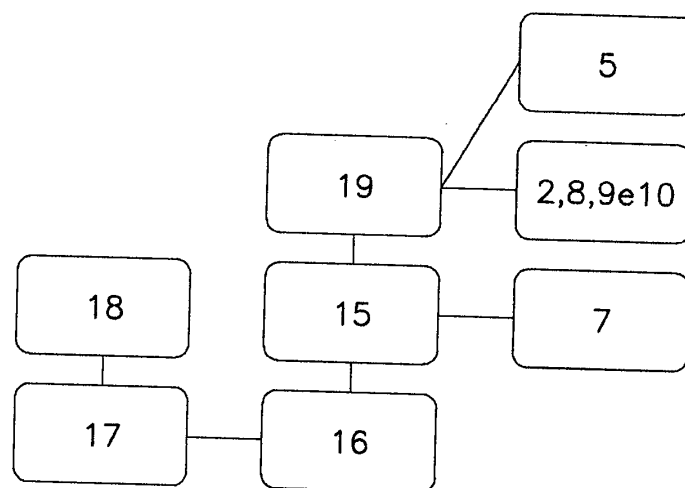


FIGURA 4

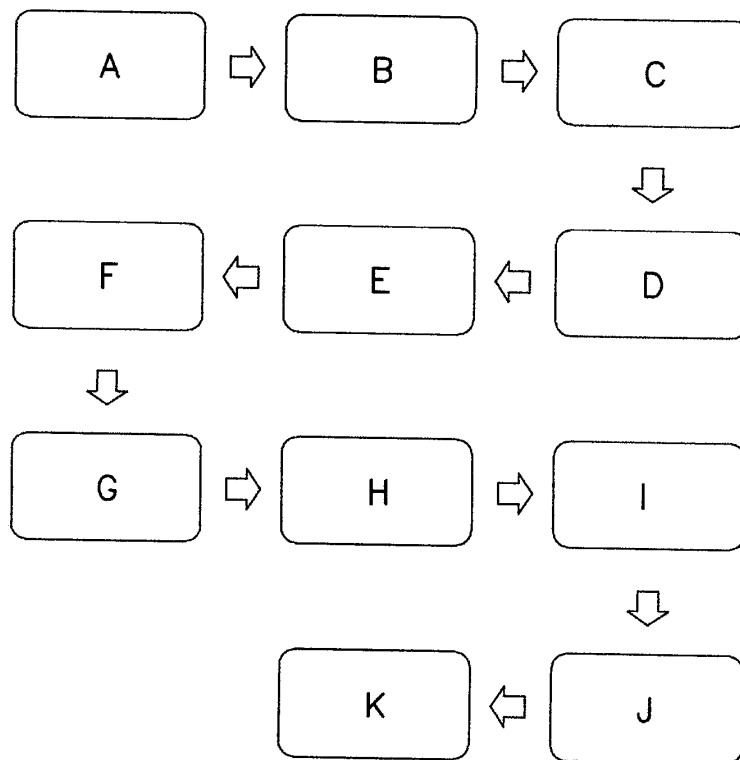


FIGURA 5



FIGURA 6

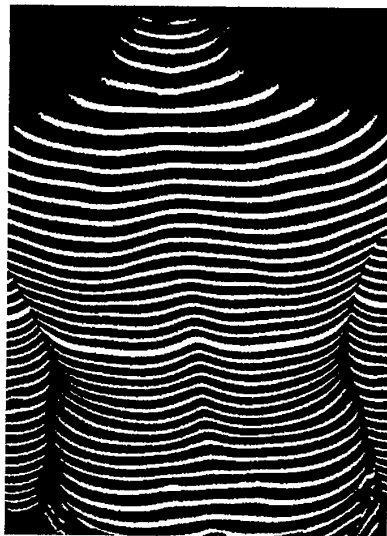


FIGURA 7

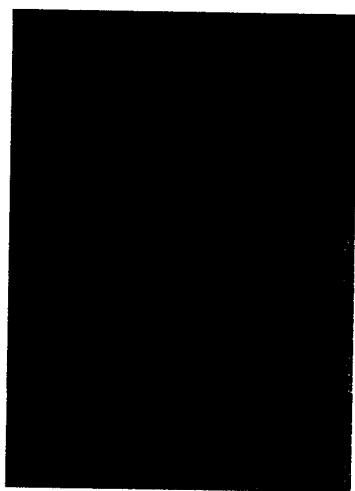


FIGURA 8

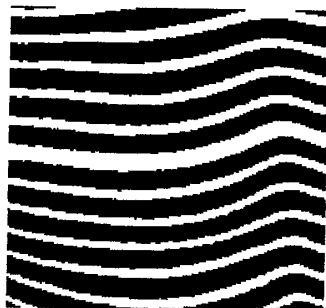


FIGURA 9

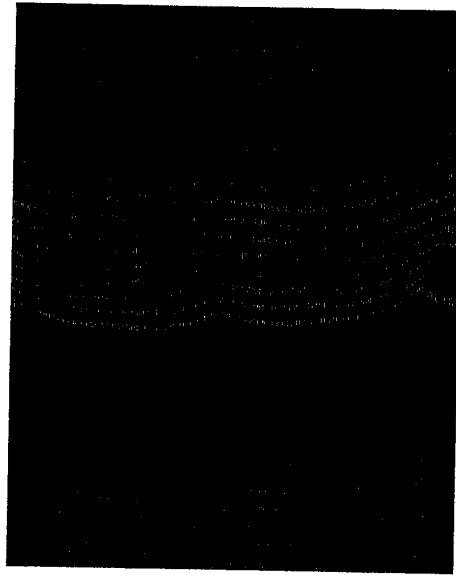


FIGURA 10

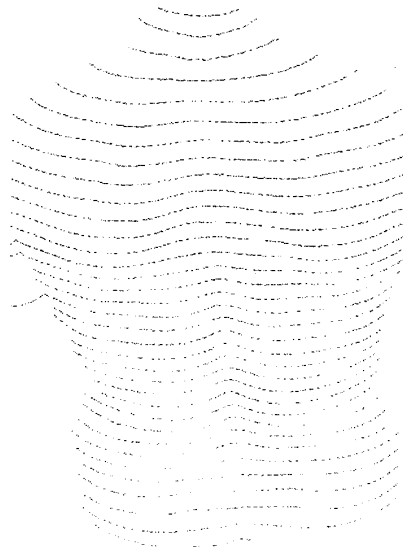


FIGURA 11

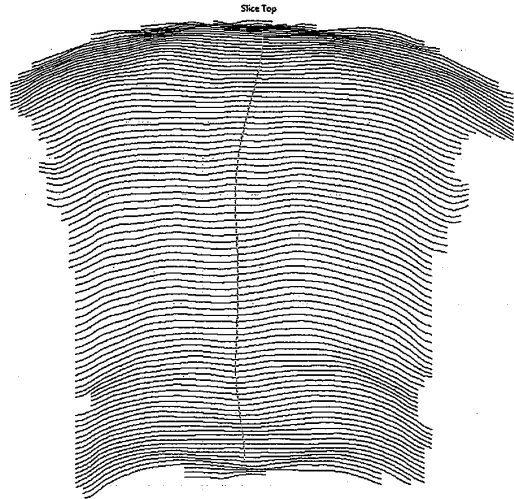


FIGURA 12

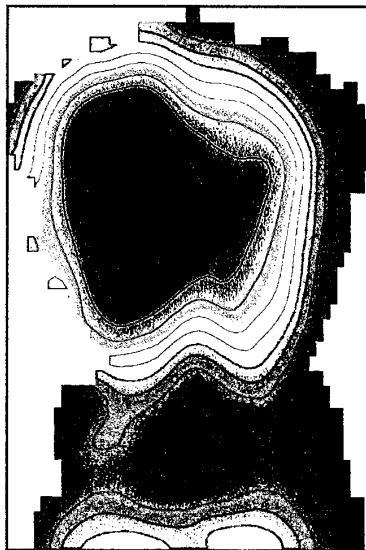


FIGURA 13

