

人体经络的三维数据模型和动画显示方法研究^{*}

余 轮¹ 蔡光东² 周 霆¹ 任东华¹ 胡翔龙² 蔺云桂²

(1. 福州大学计算机图象图形研究所 福州 350002)

(2. 福建省中医药研究院 福州 350001)

摘 要 本文叙述了人体三维形体的空间数据获得方法,提出一种基于齐次坐标变换的人体经络数据模型,为解决计算机人体经络模型的动画演示和经络穴位的透明叠加显示等问题提供了一条新思路,也为今后进一步应用数学方法或从整体综合的角度去研究经络打下了良好基础。并在分析 Targa 图象和 FLI 动画格式的基础上,实现了它们在 Windows 环境下的显示方法。

关键词 经络,模型,三维,动画

1 前 言

经络理论是我国传统医学理论的重要组成部分。它与阴阳、五行、营卫、气血、脏腑组成了中国医学的系统理论,对生理、病理、诊断、治疗、防疫等起着重要的指导作用^[1]。人体经络的分布有浅表、骨间、肉分、筋间以至脏腑的区别,但以往的经络图,仅仅只是单线勾画,缺少立体形象,不能表现经络的深入浅出。传统的乳胶或石膏模型也只能将经络、穴位的分布在模型表面示意标出,无法表现其空间位置。随着计算机的发展,应用多媒体技术将经络、针灸等中医的理论或教材在计算机上进行演示或供人学习、阅读已成为可能。台湾冈业资讯等公司在这方面做了许多有益的工作,出版了《中国针灸》等 CD-ROM 教材,但由于屏幕上显示的图象还是采用先人工绘图,再通过扫描仪输入形成的一张张位图,所以仍然停留在手工平面绘图的水平上。由于缺乏一种既可供经验积累,又可作为数据评述或综合;既可供各种动态演示,又能够从总体上、多角度观察的人体经络模型,故而迄今经络的研究仍然局限于局部的探讨与分析上。

现代经络研究已经证实了经络的循行路线和

循经感传等经络现象的存在^[2],我们的工作,包括文献^[1]的出版也在很大程度上弥补了以往经络图的不足。在此基础上,如果能够应用计算机图形学或三维动画制作等方法,依据古代记载和现代经络研究成果,建立起一种包含人体脏腑结构、骨骼、穴位以及经络循行路线并能够进行动画显示的计算机人体经络模型,那么必将为经络的临床、教学以及基础研究提供一种直观的、有利于全面观察和综合分析的有力工具。

本文着重阐述穴位等三维形体空间数据的获得及其数学模型的建立方法,并对相对坐标系统在人体经络模型动画显示中的应用做了有益的探索,为解决动画演示过程中经络穴位空间位置随着人体模型的整体或四肢运动如何精确定位的问题提供了一条新的思路,也为今后进一步应用现代数学或全息生物学等研究方法;从总体和综合的角度去研究经络的分布规律以及经穴、脏腑、疾病之间的关系打下了良好的基础。

2 应用软件与数据交换文件

在三维实体造型和动画制作方面,我们综合使用了目前国内应用广泛也较成熟的 AutoCAD12.0 及

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期 1996.07.17;收到修改稿日期:1996.10.29

3D Studio3.0 等软件,通过对 TARGA、FLI 等图形图象文件的剖析,应用 C 语言实现了对上述软件生成的图形图象或动画文件的控制与播放,具有成本低、工作量少、研制周期短等特点。3D Studio 是目前国内最为流行的微机动画制作软件,其造型和动画功能很强,但它在尺寸描述及图形修改上都依赖于鼠标的移动,难以用键盘直接输入数据或进行控制。相反 AutoCAD 软件对尺寸描述十分方便,空间点的坐标不但可以用鼠标或数字化仪输入,而且可用键盘输入绝对坐标或相对坐标。此外,AutoCAD 还有很强的目标捕捉能力^[3]。将两套软件结合起来,既可以充分发挥 AutoCAD 尺寸描述方便准确、易于修改的特点,又可以充分利用 3D studio(以下简称为 3DS)实体修饰和动画制作的特长。

AutoCAD 与 3DS 这两个软件之间的数据交换可以通过矢量描述格式文件 DXF 来进行,一个完整的 DXF 文件由四个段(SECTION)和一个文件结尾组成,顺序依次为 HEADER(标题)段、TABLE(表)段、BLOCKS(块)段、ENTITIES(实体)段、END OF FILE(文件结尾)。其中实体段是保存真实几何信息的地方,它包含了许多几何实体组,构成了 DXF 文件的主体,其它几个段有时可以忽略。DXF 文件格式十分复杂,处理起来十分困难,但对本文的工作来说,处理的只是切面的轮廓线,经剖析,发现其可以得到很大的简化。

(1)在 AutoCAD 上使用 DXFOUT 命令,选择所需要传递的实体“Entities”,即可将实体存为 DXF 文件。这时的 DXF 文件仅含有“Entities”和“END OF FILE”这两个段。

(2)实体段中包含了对 Point(点)、line(线)、Circle(圆)、Polyline(多义线)等实体的说明,一个仅包含实体段 Polyline 的 DXF 文件可简化(其中“号”所示为组代码)为:

```

0          (*)
SECTION
2          (*)
ENTITIES  (实体段开始)
0          (*)
POLYLINE  (实体段的类型)
8          (*)
0          (标明实体所在图层为第 0 层)
66         (*)
1          (“1”表示后面有一系列 VERTEX 顶点)
70         (*)
1          (“1”表示多义线为封闭的)

```

```

0          (*)
VERTEX    (第一个顶点说明开始)
8          (*)
0          (顶点所在图层为第 0 层)
10         (*)
XXX      (顶点 X 坐标)
20         (*)
XXX      (顶点 Y 坐标)
30         (*)
0          (平面曲线,令 z=0)
0          (*)
VERTEX    (下一个顶点说明开始)
...
0          (*)
SECEND    (POLYLINE 说明结束)
0          (*)
ENDSEC    (实体段结束)
EOF       (文件结束)

```

因此,要描述一条多义线,只需将封闭曲线上各(顶)点的 X、Y 坐标填入实体段中的各个 VERTEX 顶点组 10、组 20 的相应数据位置上即可。

3 三维空间数据的获得

利用 3D Studio 来完成人体造型,必须考虑人体形状的特殊性。人体是一个不规则的形体,特别是人体的面部表情丰富,曲线变化神秘复杂,给造型带来很大困难。如果简单地用规则物体进行拼接,或用布尔运算来生成,造型的效果会不理想;如果能够获得人体切面数据(切面外轮廓点的一系列坐标值),并利用 3DS 软件的 3D Loft 放样造型功能,将一系列切面外轮廓线设置在路径上,那么就可以在计算机上逼真地重建出人体模型。为此我们采用一个标准的医用脱胎人体模特作为原始模型,应用自行研制的三坐标测量仪,将原始模型拆成头、颈、耳、胸、腹、臀部、大腿、小腿、足、上臂、前臂、手等几个部分。根据它们表面的平缓曲折变化程度,分别划分为步进 1mm 左右、疏密不同的许多层,在测出各层外轮廓的极坐标后,输入计算机并转换为直角坐标供造型使用。其具体步骤与方法为:

(1)使用三点平滑滤波方法对原始数据进行预处理

(2)在剖析上述 DXF 文件格式的基础上,自行编制 C 语言程序,将各数据点直接转化为包含切面外轮廓数据的 DXF 文件,快速而简便。这对要逐点输入数据量高达 5.5MB 的切面数据坐标点的工作来说,

具有十分重要的意义。

(3)将 DXF 文件直接调入 3DS 造型软件中的 2D Shaper 图形界面上,即可获得一个切面轮廓曲线。

(4)在调入所有各层外轮廓曲线后,应用 3DS 的 3D Loft 放样功能以及 3DEditors 造型与修改等各项工作进行计算机人体模型的重建。

(5)对因测量误差等原因引起、需要对生成的计算机三维模型进行修正的地方,可以将原有相应层次的 DXF 文件调回 AutoCAD 中进行逐点修改,再利用 DXFout 命令生成 DXF 文件送回 3DS 重新造型,经反复修正、观察,就可以达到较好的效果。同时克服了用 3DS 软件修改三维模型时,由于数据节点繁多、上下左右重叠且在三视图中不易区分与确定而难以在三维图形上直接修改的困难。

(6)在 3DS 中进行各部位和内脏的拼装组合。

用这种方法,我们还可以同时得到人体模型的图形模型和数据模型。采用类似的方法,还可以得到经络穴位坐标数据,其具体步骤如下:

(1)依照标准经络挂图的正面和后面两个视图,测量出所有穴位的二维空间相对位置坐标,输入 AutoCAD 软件,形成 DXF 文件。

(2)将生成的 DXF 文件调入 3DS 软件的 2D Shaper 的图形界面上,并根据人体模型的前视轮廓进行微调。

(3)生成 3DS 后,正式用圆球点代替各穴位点,并按国标标称对各“穴位点”按所在经络线取统一前缀名字命名,然后将各穴位点嵌入人体模型中,并分别与人体模型 LINK(连接)在一起。

(4)应用标准挂图的顶视图和侧视图,对各经络线上的穴位点进行三维空间穴位位置修正,对于挂图上未标明而难以定位的穴位,则依据文献^[1]记载或专家意见以及内脏、骨骼的位置,结果人体三维模型的多角度的观察,做进一步修正。

(5)移动人体模型,选择人体足底后跟左右对称中心为坐标系原点,就可以从 3DS 中直接应用鼠标移动十字线在前视图和左视图中分别读出每个穴位点的 X, Y 和 Z 坐标值。

4 人体经络数据模型的建立

人体各躯干部位虽然形似球体或圆柱体,但由于难以从现有文献或图解中得到穴位的相对角度与半径等建立柱面或球坐标系所需的参量,而只能定出其

相互所处位置的前后、左右和上下尺寸。因此,作者引入直角坐标系这一最为简便也是最基本的坐标系,使输入的穴位点以及由它们之间的样条曲线连接成的经络线构成一个有机联系的整体。此外,由于人体穴位和经络遍布全身,如果人体经络模型只有一种姿势,则无法对穴位及经络进行多角度、全方位的观察。如果每一姿势都对穴位进行测量,则不仅工作重复且所需的数据量过大。倘若考虑应用坐标变换理论,则在事先知道模型动画显示中其运动变化过程的情况下,即已知每帧的运动规律,如果能计算出演示到不同帧数时的穴位的相对空间位置,并在模型上体现出来,那么就避免了不必要的重复。

为此,引进齐次坐标,其定义为:取一个非零的实数 X_0 ,并令 $X_p = X_1/X_0, Y_p = X_2/X_0, Z_p = X_3/X_0$,则定义数组 $[X_1, X_2, X_3, X_0]^T$ 为空间 P 点的齐次坐标。引入齐次坐标后,可方便地将平移和旋转变换转化为两个矩阵相乘。如图 1 所示,若某点 P 在旧坐标系下它的齐次坐标为 $[X'_1, X'_2, X'_3, 1]^T$,则有 $X = TX'$,式中 T 就是齐次坐标变换矩阵

$$T = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 & l_3 & r_1 \\ m_1 & m_2 & m_3 & r_2 \\ n_1 & n_2 & n_3 & r_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q & R \\ O^T & 1 \end{bmatrix}$$

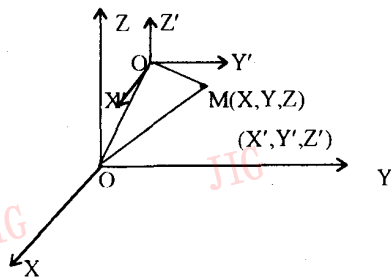


图 1 坐标变换示意图

Fig. 1 Illustration of coordinate transform

式中, Q 为两个坐标基向量之间的变换矩阵, R 为向量 OO' 在坐标系中的投影, Q 阵中的 l_i, m_i, n_i ($i = 1, 2, 3$) 即为新坐标轴的方向余弦,它们要满足以下各式:

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1; l_i^j + m_i m_j + n_i n_j = 0 (i = 1, 2, 3, j = 2, 3, 1)$$

取不同的 Q 值、 R 值,即可方便地实现平移、旋转、复合等变换^[4]。人体肢体运动的基本变化是以关节为支点的,可以将躯干各部位看成由关节连接的刚体,它们的运动方式可分解为平移和旋转等不同组合。将各坐标系的原点定在人体模型的四肢关节处,

就开成了一个相对坐标系, 各个穴位与其相应部分的坐标系的相对位置不变, 这样穴位空间位置的变化问题, 就容易通过简单的齐次坐标变换矩阵运算, 转化成各相对坐标系的原点及坐标轴运动变化问题。通过每一个相对坐标系的原点及坐标轴之间的关系, 我们可以将人体各部分穴位联系成一个有机的整体数学模型, 为今后的进一步研究打下良好基础。

制作一个人体姿态动画可在 3D Studio 的 Keyframer 模块内进行。下面举个上肢绕着肩关节运动的例子。Keyframer 中的 Hicrachical 功能包含了在物体间创造和处理链接的一组命令, 因为当上臂运动时, 下臂、手都会跟着运动, 上臂看作父物体, 下臂看作是上臂子物体, 手又看作下臂的子物体, 这就形成了一个链。接着选择轴心点, 用户 Place pivot 命令将轴心点定在各关节处。确定好总帧数, 定好每一帧上臂绕肩关节旋转的角度, 用 Keyframer 的 Render 功能生成一个 FLI 文件。由于已知每一帧的运动, 就可以在放完一帧画面时, 将待显示穴位的空间坐标在该用户视图上的投影位置计算出来, 然后应用透明叠加

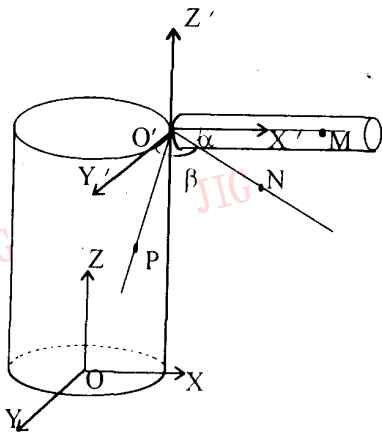


图2 人体动画模型示意图

Fig. 2 Illustration of Body Animation Model

显示技术在图上示范出该穴位点的空间位置。

如图2, 大圆柱代表人体躯干, 小圆柱代表人的上肢, 点M为小圆柱上一点, 代表某一穴位, O' 点为肩关节, O 点为绝对坐标系原点, 建立相对坐标系 O'X'Y'Z'。假定第0帧穴位在M点, 第一帧小圆柱绕 O'Z' 轴旋转, 第二帧再绕 OY' 轴转 β 度, 即第一帧穴位移到N, 第二帧穴位移到P。已知 O' 点的绝对坐标 (a, b, c), M 点在 O'X'Y'Z' 系的坐标为 [x_m, y_m, z_m, 1], 则由齐次坐标变换理论可知 M→N 的齐次变换矩阵为

$$T_l = T_m(a, b, c)T_r(z', \alpha)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & a \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

N 点绝对坐标为

$$\begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \\ 1 \end{bmatrix} = T_1 \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

M→P 的齐次坐标变换矩阵为

$$T_2 = T_m(a, b, c)T_r(y', \beta)T_r(z', \alpha)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

N 点绝对坐标为

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \\ 1 \end{bmatrix} = T_2 \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

应用上述方法, 解决了人体姿态变化时的穴位定位问题, 并将任何一组复杂的坐标变换转化成了几个简单的矩阵相乘。图3(a), (b)(图版 I)是采用齐次坐标变换理论对上肢绕肩关节运动时手太阳肺经经络线叠加显示的两个结果。具体对穴位、经络进行空间显示的方法是: 假设要在某一 FLI 帧上显示出某一穴位点, 首先从数据库中读出该穴位的三维坐标及该 FLI 帧的生成参数, 以该 FLI 帧的左下角为原点, 该 FLI 帧的生成投影面为 XY 面, 定义一个符合左手宣告的坐标系), 求出该坐标系 O 与在 3DS 中定义的人体模型的原始坐标系的位形矩阵^[4], 即可求出该穴位点在 O 中的三维坐标, 再通过投影变换与二维视觉变换, 最后得出穴位点在该 FLI 帧上的具体显示位置。

5 windows 环境下的动画显示

为了使经络线叠加在计算机人体模型的图像上, 看起来像是在人体模型内, 采用了混色即将原有象素

颜色与新象素颜色进行混合的办法,达到透明叠加的效果。在有透明叠加的情况下,原有系统的画线函数已不能使用,需用 Bresenham 算法自行编程来解决画线问题。为了使穴位点光滑地连接起来,根据经络线分布实际情况综合采用三次样条插值和分段线性插值。

本项目在 Windows 环境下开发,这就需要解决 Windows 下的图像显示问题。其关键主要是设置调色板,通过设置逻辑调色板并与系统调色板重映射来显示各种色彩。3D Studio 生成的 Targa 真彩色图像彩色表达能力强,可用于显示人体图像。通过剖析 Targa 文件结构,并利用色彩量化的方法,不论在 256 色显示卡或是真彩卡上均可以较好地显示 Targa 图像文件,其程度框图如图 4 所示。

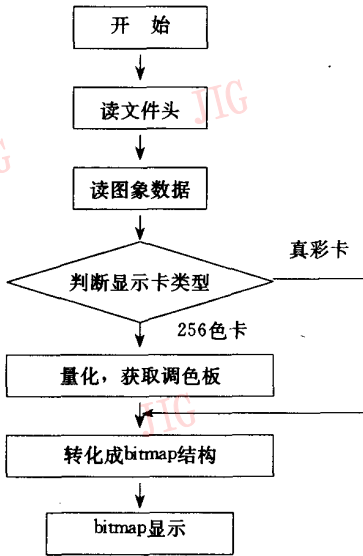


图4 Targa 图象显示原理框图

Fig. 4 Frame illustration of displaying targa

应用 3DStudio 软件可以制成为 FLI 动画显示文件,它的结构比较复杂,但是其理论依据却很简:对于一个连续的动画而言,其相邻帧的相关较大,因此我们可以只存储当前帧与上一帧的不同部分,这样不仅节省存贮空间,而且速度比较快。

FLI 文件有一个 128 字节的文件头(表 1),随后是一系列的图像帧。第一帧采用字节行程编码算法压缩,随后的帧只保存与前一帧的变化部分。文件的末尾是一额外帧,用来存储最后一帧与第一帧的差异。通过了解 FLI 文件格式,我们不难应用 C 语言实现在 Windows 环境下的动画软件播放,其软件流图如图 5 所示。

表 1 FLI 文件头标

Table 1 Head of Flifile

字节偏移量	大小	名称	含义
0	4	size	文件长度
4	2	magic	置为 OXAFII, 供辨识用
6	2	frames	FLI 文件中的帧数, 量多 4000 帧
8	2	width	屏宽(320)
10	2	height	屏高(200)
12	2	depth	像素深度(8)
14	2	flags	必须为 03
16	2	speed	帧间相隔秒数
18	4	next	置为 0
22	4	frit	置为 0
26	102	expand	全为 0, 供以后扩充用

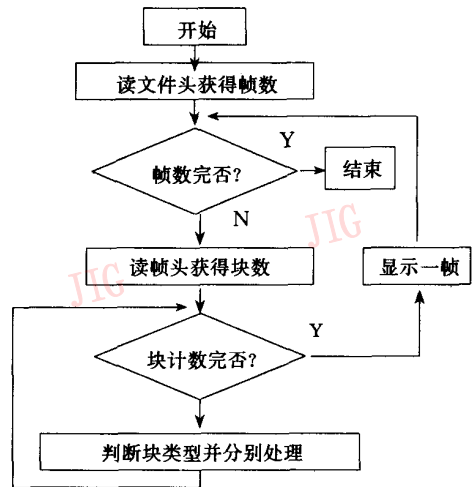


图4 读取FLI文件流程图

Fig. 5 Flowchart of reading FLI file

6 系统软件

系统编程语言主要应用了 Borland C++ 与 Foxpro2.5C++ 在图形、图像、动画方面有优势 Foxpro 在数据库检索、查找方面有优势。考虑到本项目中图像类处理比较多,而数据库记录不是很长,通过剖析了解 Foxpro 中 DBF 文件的结构,用 C++ 定义了一个类,直接完成数据库文件的基本操作,解决了同时用 C++ 语言与 Foxpro 语言编程时数据交换复杂、繁琐的问题。

系统软件界面具有 Windows 风格,如图 6 图版 I 所示,主要通过菜单、对话框等进行操作,用鼠标能轻松地进行选择。良好的人机友好交互界面,使不太懂计算机的医护人员也能很好地使用。其主要功能如

下:

(1) 经络查询: 选择经络子菜单可查询十四经脉。屏幕上显示经络名称、经络循行方向和病候举要。

(2) 穴位查询: 选中一个穴位后, 屏幕上显示出相应穴位名称、标准码、定位、主治、操作、参考资料等信息, 同时显示人体模型上穴位的位置。有四种查询方式:

名称法 选中穴位子菜单后从对话框中输入名称

标准码法 选中穴位子菜单后从对话框中输入标准码

循经导穴法 用鼠标在经络图上相应穴位点击即可

经络列表法 从一条经脉所列出的所有穴位名上用鼠标进行选择

(3) 疾病处方查询: 选择主菜单下的疾病子菜单, 可以

查询内科、外科、五官科、妇科、儿科等疾病处方, 内容包括病名、病因病机、辩证、方义等, 从处方可关联查询穴位。

(4) 循经感传和针感现象的演示: 用鼠标点一下穴位图(模拟外刺), 则有感传线沿着经络线向相关脏腑或终止穴流动。

(5) 动画功能: 选择动画子菜单可以选择十四经脉中的一个经脉的动画演示。

参考文献

- 1 蔺云桂. 经络图解. 福州福建科学技术出版社, 1991.
- 2 胡翔龙. 中医经络现代研究. 北京: 人民卫生出版社, 1990.
- 3 甘登岱等. 三维实体造型与动画显示技术. 北京: 学苑出版社, 1993.
- 4 诸静. 机器人与控制技术. 杭州浙江大学出版社, 1993.

余轮, 副教授。现为福州大学计算机图像图形研究所所长, 中国图像图形学会常务理事兼青年科技交流委员会主席, 福建省工程图学学会理事长、福建省生物医学工程学会副理事长, 《中国图像图形学报》、《福州大学学报》编委, 享受政府特殊津贴。主要研究方向为: 医学图像处理、计算机图形学、三维动画以及图形图像系统研制等。



The Study of 3D Data Model and Animation Display of the Body Meridians and Collaterals

Yu Lun, Ren Donghua, Zhou Ting

(Computer Graphic and Image Institute of Fuzhou University, Fujian, 350002)

Cai Guandong Lin Yungui Hu Xianglong

Institute of Fujian Traditional Medicine, Fujian, 350001)

Abstract This paper discusses the method of getting body's 3D space data, a Jingluo (meridians and collaterals) data model based on homogeneous coordinate transform is purposed, which not only solve the problems of animation demonstration and transparent reiteration of Jingluo and acupoints, but also lay the foundation for advanced research on Jingluo by mathematics or making overall observaton. The method of displaying Targa image and FLI animation under Windows environment is purposed after analyzing their formats.

keywords Meridians and Collaterals, Model, 3D, Animation

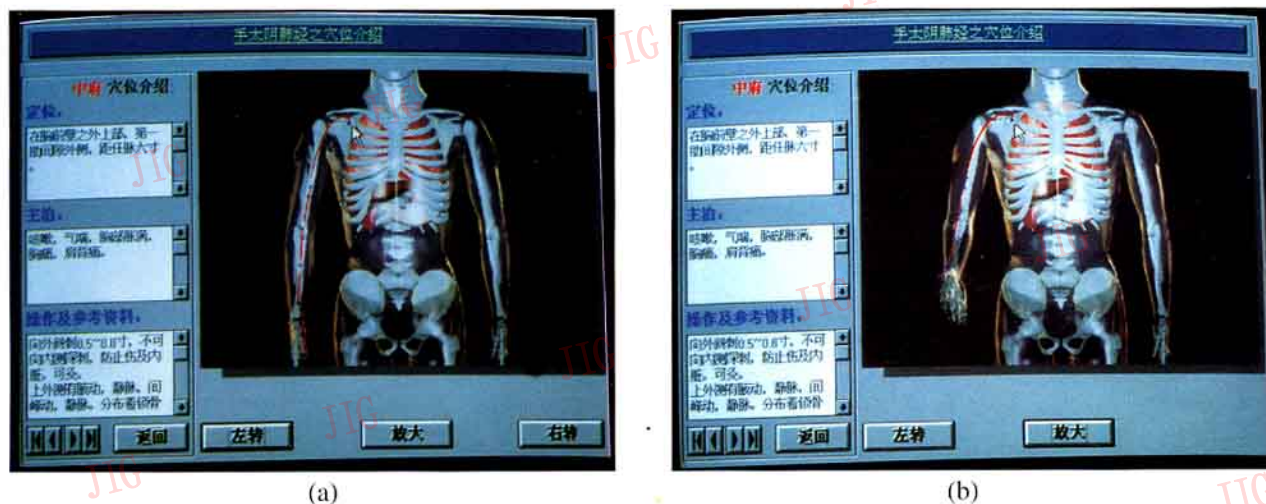


图3 手太阴肺经络线迭加显示图
 Fig.3 Image with Transparent Reiteration of the Lung Meridian of Hand



图6 系统软件界面之一
 Fig.6 One of the Interfaces of the System Program