

运动器官组织三维可视化量化分析 软件平台的研制

王映辉¹ 王英杰² 王彦君³

¹ (陕西师范大学计算机科学学院, 西安 710062)

² (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

³ (中国石油测井有限公司长庆事业部, 陕西高陵 710000)

摘要 利用可视化技术进行体育运动训练机体的量化研究,是运动训练研究最有效的手段之一,在描述了三维可视化重构的一般过程和机理,并给出了基于可视化技术的运动机体器官组织量化体积计算模型的基础上,进而,实现了基于断面图像(CT或MRI等)的运动机体器官组织的三维可视化量化辅助分析软件平台,最后指出,在运动训练研究中,以该软件平台作为辅助工具的最大优点是:可以直接利用现有的活体(特别是活人体),而无需再对被研究的运动器官组织做具体解剖,就能方便快捷地获取其运动训练效果的许多高精度量化参数。

关键词 图像 运动训练 量化 三维可视化 软件平台

文章编号 1002-8331-2004-05-0007-03 文献标识码 A 中图分类号 TP311.52

3D Visualization Quantity Analysis Software Platform of Sports Tissue

Wang Yinghui¹ Wang Yingjie² Wang Yanjun³

¹ Department of Computer Science Shanxi Normal University Xi'an 710062)

² Institute of Geosciences and Resource Chinese Academy of Sciences Beijing 100101)

³ (Changqing Business Department China Petroleum Test Well Corp.Ltd. Gaoling Shan'xi 710000)

Abstract: It is a very special wonderful method for us to improve sports-train quantity and limitation using visualization technology. Describe process of 3D reconstruct and realize quantity calculation software platform based on visualization technology and volume model of sports tissue. At last, with this software platform, we can achieve many high precision parameters of training result based on live body, especially for person.

Keywords: Image, sports-training, quantity, 3D visualization, software platform

1 前言

科学研究证明,运动直接影响着动物机体组织宏观和微观结构的变化^[1-2]。以往人们对运动训练对机体器官组织的形态、结构、成份及代谢的影响的研究,基本上建立在定性或半定量的基础上^[1-6]。其过程是,首先获取训练样本,然后通过解剖得到被研究样本的机体器官组织;最后对器官组织作进一步的解剖、成像和观察,并对观察结果作定性或半定量分析且得出相应的结论。由此可见,这种解剖过程自身带来的机体器官组织变形等方面的误差是不可避免的。目前虽然有部分研究建立在定量的基础上,但其测量的手段和技术所带来的误差非常大,特别是对一些微小的变化根本无法达到定量研究的水准^[5,7,11]。然而,人们对体育运动生物医学的研究,已经从定性到定量、从死细胞到活细胞、从形态到功能、从细胞到基因等方面发生了质的飞跃^[7,11-13]。同样,在运动生物学研究中,怎样获得更为准确的量化数据将决定该研究的成败,自然也成为人们最为关注的焦点之一。医学图像三维重构和可视化技术为获取这些更为准确的量化数据,并进行量化分析和模型建造提供了一条崭新的途径和有效的手段^[8-10]。

可视化技术是利用图形学和图像处理技术,将计算过程和计算结果数据转换为图形和图像在计算机屏幕上显示出来并进行交互处理的理论、方法和技术。已被广泛应用到生物医学、分子模型构造、地质勘探、气象和有限元分析等许多领域。特别是随着断层扫描(CT)技术、核磁共振(MRI)技术和激光共聚焦显微镜(细胞工作站)的出现和广泛应用,可视化技术可以将一系列的二维CT图像、MRI图像和激光聚焦显微图像重构成三维的形体图像。同时结合图像处理和分割技术,计算机将被研究的器官组织图像和细胞内的微组分图像进行自动分离,从而获得相应的独立三维形体图,并进行准确的体积值等参数的计算。

2 运动训练器官组织断面图像的获取

要利用可视化技术对通过运动训练后的动物的机体和器官组织的量化变化情况进行分析,首先要获得在不同训练情况下的动物整体标本,然后取得各个标本的CT或MRI图像,最后进行处理分析和量化计算。

2.1 标本的制作

基金项目:国家863高技术发展研究计划专项基金(编号:2003AA118105);陕西师范大学校级重点项目(编号:200301)资助

作者简介:王映辉(1967-),男,副教授,博士,目前的主要研究方向为可视化技术与大规模软件工程。王英杰,研究员,主要研究方向为地图可视化。

王彦君,高级工程师,主要研究方向为地层可视化技术。

由于是通过可视化平台在二维图像的基础上重构三维图像,所以,样本的制作十分简单。

如果要获取死样本的图像数据,仅将被运动训练的样本动物(如老鼠等)在零下4°隔离冷冻一周之后,作为CT或MRI图像获取的固化标本。

如果要获得活样本的图像数据,可以采取注射镇定剂的方式。对被训练的动物,一般采用这种方式获取CT或MRI图像,这样,训练样本的活体可以继续用作下次训练。

此外,如果样本是活生生的人体,则不需要作任何处理而直接利用。

由于被研究的器官和组织的分割与分离,是由计算机通过CT或MRI图像所重构出的三维体上完成的,因而完全无须对运动训练样本进行机体解剖。从而确保了样本图像数据的原本性和准确性。

2.2 标本断面图像的获取

假设将本次运动训练动物(也可以是人)标本分为 n 组,每组包含 m 个标本。

对全部标本,用同样的间距(越小越准确)从上部-躯干-下肢,依次获取CT断面图像或MRI图像。由于体积大小的差异,每个标本获取的图像的个数也不相同。

对于某一个标本来说,假设其二维图像的个数为 p 幅,每幅的大小相同(包括空白部分)。下面对基于二维图像的器官和组织分割获取技术的描述仅限于一个标本。

3 运动训练器官组织三维量化计算平台实现中的关键技术

使用连续的二维CT、MRI等断层扫描图像序列作为原始数据,对图像进行取噪、增强、分割等处理,然后利用面绘制和体绘制技术,在计算机中准确地获得能用于全方位观察的、独立的或复合的三维器官组织的三维立体图形;同时,通过体积计算模型(参见以下内容),可获得准确的体积变化量。下面分别对这些平台实现中的关键技术加以描述。

3.1 器官组织三维重构和计算的一般过程

基于二维序列图像的三维重构的一般过程是^[8-9]:(1)数据获取。从CT或MRI等取得原始图像序列数据;(2)图像预处理。将图像数据转换为用户感兴趣的数据格式;(3)映射。提供造型和数据分类功能;(4)器官组织的分离和计算。根据分割边界,结合像素数据,计算出体积值;(5)进行三维形体绘制。包括面绘制和体绘制,并提供三维平移、缩放、旋转和变化功能;(6)输出用户需要的数据格式。如图1所示。

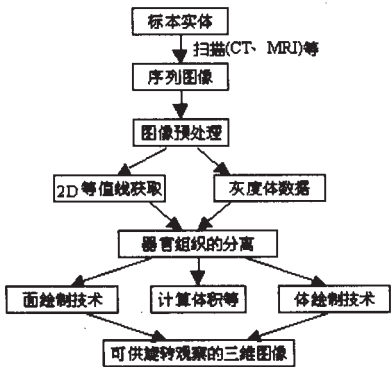


图1 基于断层图像的三维重构和计算过程

3.2 三维量化软件平台数据结构的层次关系

该软件平台设计中的数据组织采用层次结构(图2)。这种数据结构保证了对图中所示节点访问的灵活性和方便性。

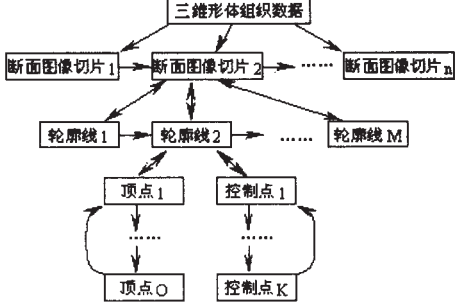


图2 平台采用的数据结构

其中,断面图像切片 i ($i=1, 2, \dots, N$)为CT或MRI等的二维断层图像,其相邻次序关系在图中用水平箭头来表示,即 i 的前驱为 $i-1$ (当 $i=1$ 时无前驱),后继为 $i+1$ (当 $i=N$ 时无后继);轮廓线 j ($j=1, 2, \dots, M$)为每个断面图像切片内包含的器官组织被分割的边界线,用于确定器官组织的边界面;控制点 l ($l=1, 2, \dots, K$)为轮廓线的控制样点,用作器官组织的边界线或边界面的样条表示;顶点 p ($p=1, 2, \dots, O$)为器官组织的边界线或边界面上的点;轮廓线、控制点和顶点同样也有与断面图像切片相同的邻接次序关系。

3.3 基于运动器官组织断面图像的二维轮廓线提取和三维体的重构

在运动训练的研究中,定性观察和定量计算往往是同时所需要的。定性观察要求直观有效,特别要求对被研究器官组织进行全方位的观察,这就要求该平台具有全方位的三维展示功能。定性观察往往无须了解运动训练器官组织的内部细节,所以可利用面绘制技术完成定性观察的需求,也就利用在平面图像中提取的一系列二维轮廓线来重构器官组织的三维表面形体。由此可见,对平面图像的二维轮廓线的提取是非常关键的一步,因为轮廓线不仅是面绘制的基础,而且是进行运动器官组织分离和运动器官组织体积计算的界定线。

然而,尽管器官组织的结构、致密程度以及它们的色度等不尽相同,但是,目前的物质分离和分类技术尚不能将共存的多种不同物质加以严格分类^[8],所以根据CT或MRI灰度图像,由计算机全自动将所有的器官组织图像从复合图像中分离出来存在一定的难度。因而,在该平台中,首先采用由计算机自动划分界线,然后利用计算机与人工干预相结合的办法,从而获得更为准确的被研究器官组织图像的边界线数据和相应的控制点数据。

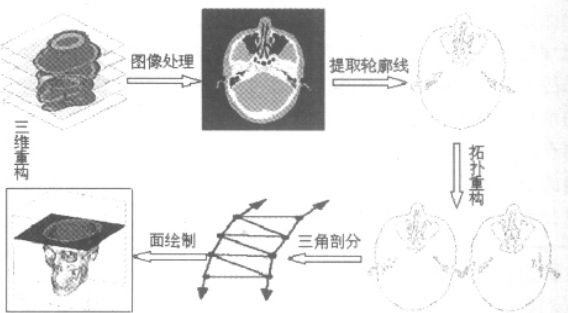


图3 断层图像重建体模型示意图

图3对面绘制过程机理进行了描述。图4是在图3模型支持下的器官组织分割界面一例。

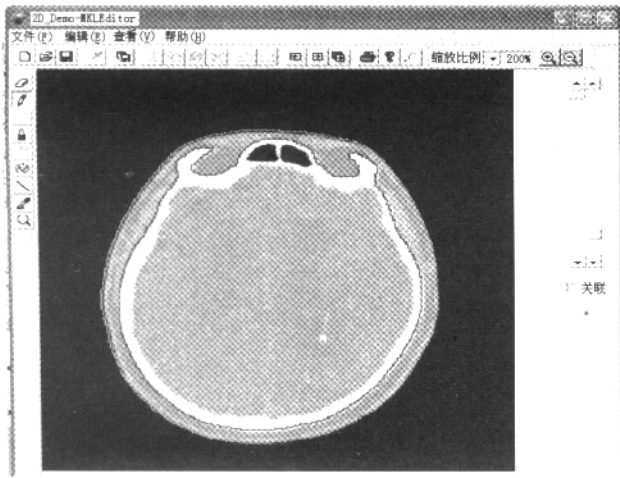


图4 器官组织分割界面

如果要观察被分离的运动器官组织的内部细节,可利用体绘制技术,进而完成图像的平移、旋转和缩放、以及任意方向的切割观察功能。有关体绘制的详细技术,请参阅文献[9]和[10]或相关资料。下面仅对该平台研制中的器官组织计算模型加以陈述。

3.4 运动器官组织的三维体积计算模型

运动训练对器官组织的影响,最为直接的变化体现在运动器官组织的体积变化上。而器官组织的耐力和适应性等变化与体积变化有直接的关系。可见,体积变化量是运动训练研究中最为基础的、也是最为关键的一个参数。

在该平台中,器官组织体积计算模型建立在如下的假设条件下:

(1)假设通过计算机自动分割技术,已经将你们所关心的运动器官组织图像进行了分离,整个被分离的器官组织由Z片二维平面图片组成,图片上的器官组织所占据的实际面积为 S_i ($i=1 \dots Z$),且每片有 Y_i 行像素,每行有 X_j ($j=1 \dots Y_i$)个像素;

(2)同时假设相邻图片之间是等距离的(实际也是等距的),设为H;

(3)另外,假设每个平面像素的宽和长分别为W和L;

(4)此外,对于每个二维图片,假设器官组织的分割线是闭合的。

从而可得出运动训练器官组织的体积计算模型(图5)公式为:

$$V = \sum_{i=1}^Z (S_i * H) = \sum_{i=1}^Z \sum_{j=1}^{Y_i} X_j * \delta$$

其中 $\delta=W*L*H$ 称为技术限定因子

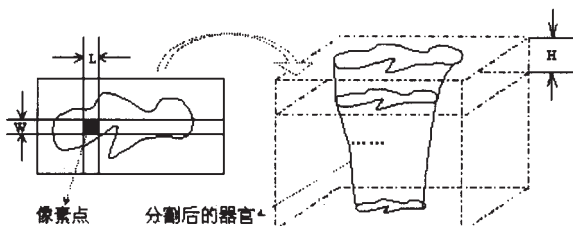


图5 运动训练组织体积计算模型图

由此可见,在以上模型的实际应用中,像素个数的获取是

关键的一步。其解决办法之一是模仿区域填充技术(参阅文献[10]中的有关章节),可获得分割区域内的像素个数。

另外,技术限定因子 δ 是对目前实验技术条件的一种综合评判值。它的精确与否将直接影响着体积值的计算结果,其精度只有随着图像获取设备和技术条件的改善而得以提高。

最后需要说明的一点是,技术限定因子 δ 在许多实际应用中要具体确定。如果将以上体积模型用在量化比较研究中,则由于比较抵消作用而无须具体确定 δ 的值,从而可以完全避免由于 δ 所带来的不精确性;如果将之用在体积值的具体计算上,则 δ 的精度主要取决于平面像素的面积精度。

4 结束语

利用可视化技术获取运动训练样本器官组织的量化数据,其优点是:(1)不需要手工解剖动物机体和器官。这不仅可以减小或避免人为解剖所带来的误差(特别是解剖挤压中的变形所带来的误差),而且可以将活标本再利用;(2)可以及时获得活生生的训练样本数据,使数据保持它的原本性;(3)在运动训练周期内,可以随时进行样本数据采集,进而获得随时间变化的数据,为可控训练(即达到量化控制的目标)提供科学依据;(4)可以迅速获得被观察器官组织的三维立体图像,并进行三维浏览;(5)可以提供在计算机上进行被研究器官组织图像的任意方位的交互切割和观察。

可视化技术目前已广泛应用到了科学研究的许多领域。然而,利用可视化技术对运动训练的结果进行量化评判和研究,目前国内还尚未见到相关报道。运动组织三维可视化量化软件分析平台的研制,正是可视化技术在体育运动训练量化研究方面的一种尝试,对获取准确的训练量化数据提供了一种简洁、快速和十分有效的手段。

然而,该平台只是实现了三维实体可视化技术的一些基本功能和少部分运动量化训练数学模型,如运动器官组织图像的预处理、运动器官组织图像的自动或半自动分割、分割线和分割面及其样条控制点的获取和存储、分割面或分割样条曲面的确定、基于面和体的三维器官组织的绘制、三维体的平移旋转和缩放、基于体绘制的三维器官组织任意方向的自由切割观察、以及基于分割面的器官组织的三维体积量化计算等功能。但是,可以肯定是,该平台是运动训练量化研究的最为有效的工具之一,它能够精确、客观,并以量的概念反应运动机体器官组织的变化,避免了以往定性观察、半定量研究或定量研究中难免的主观臆测和视觉误差,并为运动训练量化模型的进一步获取提供科学依据。

最后特别要说明的一点是,由于在该软件平台的辅助下,进行运动训练研究时无须再对样本进行解剖,就可以获得许多的训练效果参数,这给直接利用人体作为训练样本带来了极大的方便性,为直接获取人体训练效果的高精度量化数据提供了一条崭新的途径。(收稿日期:2003年6月)

参考文献

- 1.陈筱春,文质君,屈菊兰等.大鼠跑台连续疲劳后网组织细胞计算,血浆游离血红蛋白测定和红细胞形态的扫描电镜观察[J].体育科学,2002,22(2):108~111
- 2.Weber KT,Clark WA,Janicki JS et al.Physiologic Versus pathologic hypertrophy and the pressure-overloaded myocardium[J].Cardiovasc Pharmacol,1987,10(Suppl.6):37~50

(下转13页)



图4 乘性噪声和椒盐噪声图像去噪结果

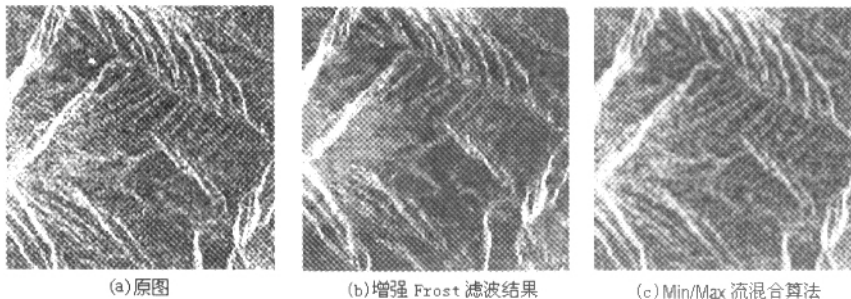


图5 合成孔径雷达图像去噪结果

是利用该文提出的混合格式计算的结果。两者进行对比,后者保持了较好的轮廓、细节和清晰度。而前者的边缘和细节较模糊。图5是合成孔径雷达(SAR)图像斑点噪声(speckle)去噪结果,图5(a)是原始噪声图像^[9],图5(b)是增强frost滤波结果图,图5(c)是该文Min/Max曲率流混合格式处理的结果。从视觉效果看,图5(c)的优势是明显的,基本抹平了斑点噪声,也能保持原始图像中的基本信息,图像更清晰。

5 结论

该文从几何曲线演化和热扩散两个方面详细阐明了Min/Max曲率流除噪和增强的机理,指出了其不足之处。在原来迎风格式离散的基础上,提出一种能保持边缘尖点又保留迎风格式优点的混合型离散格式。实验结果表明,新的离散格式能较好地去除噪声,更好的保持目标的结构,图像也更清晰。在去除合成孔径雷达图像斑点噪声方面与增强frost算法等相比,优势也很明显。但该离散格式去除噪声的能力与原来的迎风格式一样依赖于控制开关,同时Min/Max曲率流除噪的能力还有待提高。(收稿日期:2003年11月)

参考文献

1.P Perona, J Malik. Scale-space and edge detection using anisotropic

diffusion[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629~639

2. Joachim Weickert. Anisotropic Diffusion in Image Processing[D]. PhD Dissertation. University of Kaiserslautern, Germany, 1996

3. L Alvarez, P L Lions, J M Morel. Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion II[J]. SIAM Journal on numerical analysis, 1992, 29(3): 845~866

4. M Grayson. The heat equation shrinks embedded plane curves to round points[J]. J. Diff. Geom., 1987, 26: 285~314

5. S J Osher, J A Sethian. Fronts propagation with curvature dependent speed: Algorithm based on Hamilton-Jacobi formulation[J]. Journal of Computational Physics, 79, 1988, 12~49

6. R Malladi, J A Sethian. Image Processing Flows under Min/Max curvature and mean curvature[J]. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(2): 127~141

7. R Malladi, J A Sethian. Level set methods for curvature flow, image enhancement and shape recovery in medical images[C]. In Proceedings of conference on visualization and mathematics, Berlin, Germany, 1995

8. R Malladi, J A Sethian. A unified approach to noise removal, image enhancement and shape recovery[J]. IEEE Trans on Image processing, 1996, 5(11): 1554~1568

9. 徐新, 廖明生, 卜方玲. 一种基于相对标准差的 SAR 图像 Speckle 滤波方法[J]. 遥感学报, 2000, 4(3): 214~218

(上接9页)

3. 陈彩珍, 卢健, 许豪文等. 长期运动训练对老年小鼠心肌线粒体功能的影响[J]. 体育科学, 1999, 33(6): 82~85

4. 樊宏, 刘维永, 晏培松等. 风湿性心脏病二尖瓣和心肌间质病理组织学及免疫组化观察[J]. 中华医学杂志, 1996, 76(3): 183~185

5. 刘世文, 宋洪臣, 赵过库. 不同牵引方向对颈椎间盘突出症形态结构影响的 MRI 影像学分析[J]. 中国运动医学杂志, 2001, 20(1): 46~49

6. 邱平, 苏海丽, 常润娥. 腰椎间盘突出症保守治疗的效果及其与 CT 扫描之间关系探讨[J]. 中国运动医学杂志, 2001, 20(1): 58~60

7. 常云. 面向 21 世纪的运动医学研究[J]. 中国运动医学杂志, 2002, 38(4): 3~10

8. 何军, 周钢, 王从军等. 基于断层医学图像的层次性三维重构技术[J]. 计算机应用, 2002, 22(11): 74~75

9. 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999-12

10. 孙家广. 计算机图形学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000-07

11. 孙常义, 裴海泓, 孙小春. 党参对训练后人体血细胞及小鼠心肌作用的定量细胞化研究[J]. 体育科学, 1999, 12(3): 82~85

12. 张海潮. 茜阳扶阳剂对力竭性运动大鼠消除疲劳的超微结构影响[J]. 中国体育科技, 2002, 38(4): 42~44

13. 于新凯, 左群田野. 运动对骨骼肌球蛋白重链的影响(综述)[J]. 体育科学, 2002, 22(1): 98~100