

精子图象的形态分析

陈天洲 石教英

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 从实用的角度分析了精子分析自动化的方法。应用了数学形态学的处理,分别分析了精子的静态和动态图象。从静态图象分析出精子的个数。在动态图象中,通过细化得到运动的骨架。最后剪枝计算得精子的主运动方向,以计算精子的临床数据。这对精子的分析和计算具有重要意义。

关键词 精子 形态学 分析

0 概述

由于计算机软、硬件的飞速发展,使得计算机在医学上的应用越来越广泛。医生根据所见的图象诊断和治疗疾病已成为电子学在医学上的典型应用。目前在医学上的图象有 X 光片、组织切片、CT 及 MRI 等。显微分析在其中占有重要地位,因为它的分辨率高,显微切片处理可以取出一块组织,连续切片后放大,通过 CCD 扫描进计算机,通过区域分割、三维重建画出三维图形供医生诊断。本文所述的精子显微分析系统是计算机技术在医学上的又一应用。

男性不育是不育症的一个重要因素。要诊断男性不育症,就要分析男性精子的活动能力。首先将精子着色,稀释涂在显微载玻片上,通过显微镜进行观察、或者通过 CCD 显示在监视器上,统计精子的个数、速度、大小、死活比例等等,这就需要很多的人力,而且培养专门的检查技师需要的花费也很大,因此希望这工作能自动完成,即精子分析自动化。

解决这个问题可以使用图象处理方法,对采集的图象可以进行形态分析,检测出用户所需形状的目标。自1964年 G. Matheron 和 J. Serra 创立数学形态学(Mathematical Morphology)以来,数学形态学不断发展和完善,由于其具有并行、快速、易于硬

件实现的特点,日益引起人们的关注。数学形态学已经广泛地应用于医学领域。文献[1]中对血液细胞标本进行筛选时,使用改进的 Top-Hat 变换对杂质、细胞质及白血球进行分割。文献[2]在处理角膜内皮组织图象时,用灰度形态学对图象做圆形抽取,再用分水岭方法分割,构造细胞的邻域图,由其形态谱分析分割多个细胞相邻时的分界,以对图象进行分割。

本文介绍的方法是针对精子的诊断而进行的。从算法的结果中,可以方便地计算精子的个数、速度、大小、死活比例,计算准确快速,提供了临床诊断的依据。

在计算机处理过程中,首先通过图形硬件采集精子图象(包括静态图象和动态图象),传输到计算机中。对静态图象,首先填充欠缺部分,然后由精子的形状特征定义一些约束条件,可以检测出精子的个数。同时,如果存在2个精子互相邻接,文中使用快速的近似算法来区分。这样,精子的个数就可以比较准确地确定下来。对动态图象,通过填充运动轨迹的空隙,细化计算骨架,裁剪掉小分支,得出精子的主运动方向和速度,并可以计算出精子的振幅。

1 精子分析设备的硬件配置

精子分析系统由电子显微镜观察精子的标本,

• 受国家自然科学基金“基于波的数据场特征分析及绘制技术的工作(No. 69703004)和浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开放课题支持

收稿日期:1996-08-16;收到修改稿日期:1998-04-09

通过 CCD 采集监视器上的图象,将它转换为可供计算机使用的点阵数字图象。该采集设备可以由软件控制。对同一标本,需作2种采集方式:其一为静态方式,采集的为一个时刻(瞬间)精子的静态图象;其二为动态方式,由硬件跟踪精子的运动,对各个时刻的图象进行叠加,采样的结果为一段时间内精子的运动轨迹。对每个样本,采样2次,通过软件计算精子样本的各参数,并由输出设备输出。其硬件连接如图1。

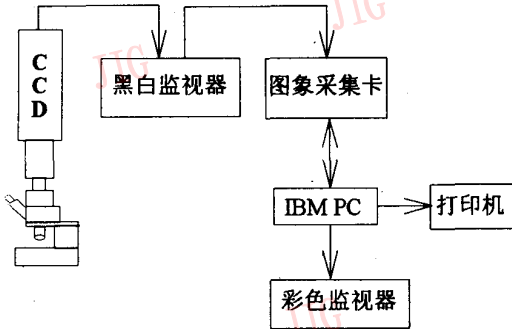


图1 精子分析设备的硬件配置

2 图象采样

对显微样本的静止采样和动态采样,均由计算机硬件来实现。由于对一个标本,需采样2次,所以必须注意2次采样的对象要相同,或尽可能一致。对于软件来说,必须解决如何缩短2次采样时间间隔的问题。所以在第1次采样完成后,并不马上处理图象,而是调图象进入内存,并发指令采集动态图象。这样静态、动态图象间就有了对应关系。在采集动态图象时,应避免2个精子轨迹相交,以便计算。

跟踪一幅动态图象时,显微镜的放大倍数较小,才能使在一段时间内精子的运动不会超出图象范围,从而有效地进行图象叠加。由于需要采集动态图象,并且静、动态图象间需要有对应关系,所以在采集静态图象,采集的精子图象较小。由于本文静态处理的目的是计数,故对计算没有影响。

3 形态学基础

数学形态学建立在 Minkowski 和差的基础上。Minkowski 和差,又称形态膨胀和形态腐蚀。在形态膨胀和形态腐蚀的基础上,可以定义各种形态操作。

对于二值图象,令 X 为图象, B 为结构元素,形态膨胀和形态腐蚀定义如下^[3,4]:

$$\text{形态膨胀: } X \oplus B = \{x; \check{B}_x \uparrow X\} = \{x; \check{B}_x \cap X \neq \emptyset\}$$

$$\text{形态腐蚀: } X \ominus B = \{x; \check{B}_x \subset X\}$$

其中 $\check{B}_x = \{x-b; b \in B\}$,即集合 B 关于原点对称和沿向量 x 的平移。

对于灰度图象,若 $f(x)$ 、 $g(x)$ 为灰度图象和结构元素:

$$\text{形态膨胀: } (f \oplus g)(x) = \sup\{f(y) + g(x-y) \mid y \in E^{(n)}\}$$

$$\text{形态腐蚀: } (f \ominus g)(x) = \inf\{f(y) + g(x-y) \mid y \in E^{(n)}\}$$

对应着形态和差的定义,可以方便地引入形态开闭的定义。以下是对二值图象的定义,对灰度图象的定义是相似的:

$$\text{形态开: } X_B = X \cdot B = (X \ominus \check{B}) \oplus B$$

$$\text{形态闭: } X^B = X \cdot B = (X \oplus \check{B}) \ominus B$$

形态开,对图象具有平滑功能,能清除图象的边缘毛刺及孤立斑点,故称 $X - X_B$ 为图象 X 关于结构元素 B 的冗余集。形态闭具有过滤功能,能填补裂缝及破洞,所以 $X^B - X$ 称为图象 X 关于结构元素 B 的欠缺集。CO 与 OC 滤波是形态开闭的混合使用: $X \cdot B \cdot B$, $X \cdot B \cdot B$ 。

另外还有一类常用的灰度图象的处理方法,其主要有分水岭方法。直观地说,是把二维灰度图象看成立体的地形曲面,灰度值对应高度,并对应于地形图定义盆地、分水岭。如果一个点,可以出发2条以上的流线,并达不同的底部,称该点为分水岭上的点,这些点的集合称分水岭(Watershed)。由分水岭划分的区域称为盆地。与之相反,定义划分线(divide line),相当于把地形翻转过来看时的分水岭。直观地看,分水岭是两山峰之间的山脊,划分线为两山之间的界线。这在灰度图象分割上有重要的应用。

4 静态图象的处理

由于放大倍数较低,从采集的图象(512×512, 0~255灰度等级)看静止的精子,大约为圆形和椭圆形(离心率接近0),半径在5~9个象素之间,灰度等级比背景低,但其中心灰度级较高,它的尾巴由于放大倍数低而看不见了。故要筛选出精子,只需分割出符合条件的图象:离心率满足一定范围,半径大小适中,灰度等级合适。

4.1 预处理

为了后面的目标检测、分割易于进行,程序在采集后进行一些预处理。

由于采样时,是从监视器上采样,隔行扫描,因行间扫描时间有差别,图象的行间并不连续,故需要对图象进行光滑—主要是使边界光滑。又由于精子表现为环形区域,其中心灰度较大,如果区域内特征一致,对检测是有帮助的。本文采用形态处理中的形态闭,不但填充中心,使中心灰度级变低,而且对图象的边界进行了形状光滑。

对灰度图象,使用形态闭变换,结构元素为圆锥,中心灰度级低,四周灰度级高,圆锥半径为目标半径的上限,圆锥的高设定为一个常数—统计出的环形中心与周围的灰度差,这样就能使精子中心灰度降至与四周一致,有效地填充了欠缺。对二值形态处理,首先对灰度图象进行二值化。对二值化后的图象作形态闭变换,其中结构元素为圆,半径同上。

4.2 目标分割

目标分割是基于一些预先定义的规则来进行的。这些规则指出了目标形态上的通性,各个规则都可独立作为筛选的约束,也可综合来筛选目标。

下面是筛选规则:

规则1 精子图象的面积是有界的,大于下限且小于上限。

精子的大小相似,所以在电子显微镜下的目标图象的面积有一定的范围,超出范围的区域即可删去,为以后的分割作简化。当然,面积范围应适当地取大一点,因为以后要考虑2个精子相邻接的情况。利用面积只作一个大致地筛选,减少待选的目标。在灰度图象中,面积可取一定阈值以上的点集。

规则2 精子图象的半径是有界的,删去半径大于上限或小于下限的区域。

这里考虑的是通过考察待定区域的几何性质,来分析区域的属性,是否是目标。由于精子的半径有一定的范围,故可利用形态腐蚀来判断区域的最大、最小半径。

方法1 结构元素取离散圆。删除半径小于下限的区域,可以用半径为下界的离散圆为结构元素,进行形态腐蚀,如果区域消失,筛除该区域。否则选中。对上界的处理类似。

方法2 结构元素取 3×3 矩阵二值图象中可为:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

用于下界的确定 用于上界的确定

删去半径小于下限的区域,可对图象作 n 态腐蚀,其中 n 范围的最小值,若有区域经 n 腐蚀后消失了,则说明其半径小于 n 筛除该区域。同理对上界的处理。

方法2的提出是为了改善计算的速度,相当于将离散圆进行结构元素的分解,进而减少了计算量。同时,还可得到区域的半径(实际上为短轴)。但是,它对半径的理解与基于圆不同,半径的计算会有其误差。

在灰度图象中,结构元素选择圆锥,其高较难控制。若目标对象灰度为 G ,背景为 B ,半径范围为 $\{n \sim m\}$,则可取高为 $(B-G)/m$ 。这样,精子区域经过 n 次形态腐蚀后,仍有值; m 次后区域消失。其它区域不具有这种特性。

规则3 考虑形状:精子的离心率较接近0,对之设定一定的门限来筛选目标。

图象采样中,培养液中可能带入杂质,灰度条件与精子相似,形状为扁长形,有可能在前述的过程中不能有效地筛除,所以必须从形状上筛选。精子的离心率较接近0,即长轴和短轴相似,长形因子(最长轴和最短轴之比)接近于1。通过K-L变换可以精确地计算出区域的长轴和短轴,那样计算量较大。因为现在待选的区域已经被填充欠缺,本文折中考虑,可以简化:

近似规则1 用周长和面积之比作为替代长形因子,作为衡量长形因子的参数。

显然,扁长形的周长面积比较大。用区域的周长面积比与所容许的最扁(即长形因子最大的)的同样半径(其实为椭圆的短轴)的椭圆作对比,相似的为精子图象。值得注意的是,类圆形的区域,边界并不一定光滑,使周长变长,周长面积比增大。所以需对边界作光滑(对图象作OC滤波或CO滤波,可以消除冗余噪声和欠缺噪声。因为初始作了形态闭变换去欠缺噪声,所以只需作形态开变换,去除冗余噪声,即光滑了边界。但是这样计算量加大了)。经过光滑,类圆形的周长面积比就降下来了,而对扁长形物体,周长面积比仍然很高。利用周长面积比就可以进一步判断区域的属性。

近似规则2 对于相同短轴的最扁的椭圆,区域的面积和椭圆的面积具有相似性。否则,区域有毛

刺。

对比近似规则1,规则2不用对边界进行光滑,速度有相应提高。

规则4 考虑邻接情况:如果一区域满足下述条件,即为邻接情况,划分为2个精子。

(1) 面积大于一个的最大值,且小于2个的最小值;

(2) 进行逐步腐蚀时,在较早的时间就出现2个腐蚀形成的区域;

(3) 这两个区域为分别满足规则2。

这种情况是有2个精子相邻,且互相重叠的部分不是很多(即图象呈哑铃状),经上述步骤可识别出是2个精子,所以要分割成2个精子图象。对于二值图象,分割线为几何影响带(geodesic influence zones)^[5],参见图2。

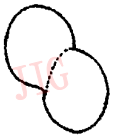


图2 两个精子邻接 对于灰度图象,准确的方法是利用分水岭。由于分水岭算法计算量较大,本文采用了一种简单的方法,直接取两个精子的中心作垂直平分线,作为分割。因为各个精子半径相似,用分水岭方法,得到的结果应该在平分线附近,用平分线来近似是可行的。

5 动态图象的处理

动态图象处理,目的是计算精子的各项参数,那就必须划分出轨迹和背景,然后对轨迹求它的中轴骨架以及振幅等。在动态图象上,精子的运动以S状进行的,如图3所示。对一段时间进行图象叠加,最后

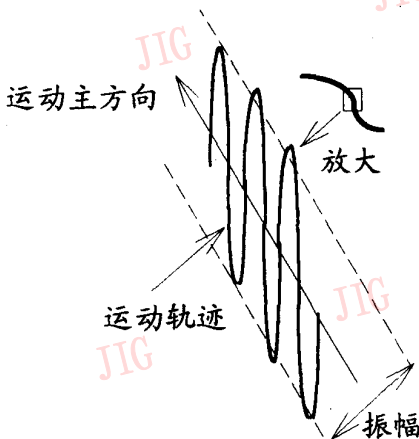


图3 右上为动态图象的一部分,将框中部分放大的结构的结果是一些粗的曲线,如图中右上,而将其一部分

放大,其结构为精子沿一曲线为主方向,绕着这条曲线作振动。需要计算的精子活力与精子的运动主方向和振幅有关。所以,动态图象的处理以抽取主方向曲线为目的。

5.1 预处理

由硬件跟踪而得的精子运动轨迹,看上去象一根弹簧,它的灰度与它在该位置停留时间成比例,时间越长,灰度越低。停留时间表征速度。精子运动,是沿着一根轴线,一边振动一边前进的,在振幅大的地方,停留时间长,所以在振幅最大的地方灰度级低,颜色暗,而中心的灰度高。

所以在预处理中,同样需要进行填充欠缺的过程。

为判断一个图象是否为一条精子轨迹,可有多种判定:

- (1) 首先可以删去面积小于一定数值的区域;
- (2) 由于仍有一些杂质,细度范围与目标范围不同,同上述利用半径删去的方法,不断进行腐蚀,直至图象消失,记录腐蚀次数,即细度。
- (3) 同静态图,填充欠缺噪声,考虑形状,目标轨迹一般细长,可设定阈值判断是否轨迹。

5.2 中轴骨架的得到

在数学上,骨架的定义为:

令 R 是一平面集, B 是它的边界,并且 P 是 R 中的一点,在 B 上 P 的一个最近的近邻 B 中的一点 M ,使得在 B 中没有其它的点与 P 之间的距离小于 M 。如果 P 不止有一个最近的近邻,则称 P 为 R 的骨架点,称所有骨架点的并为 R 的骨架。

骨架算法的思想是:首先确定骨架象素和轮廓象素,一个不断移去不是骨架的轮廓象素的过程,即细化。经典的细化算法是并行和串行处理的混合,不同时检查所有的轮廓象素,而仅检查其 N -近邻是零的那些象素, N 依次取0, 2, 4和6,于是宽度为2的一个数组将首先细化成宽度为1。因此,它的其它象素将被保留。在这种算法中,需要一种特别的方法来标记骨架象素,否则在后续的迭代过程中,当它们不要求连通性时会被删除掉。

以后陆续提出了异步细化算法,用行相邻图(LAG)的快速细化算法。

本文利用形态学,对目标轨迹求骨架。由于直接对图象求骨架,骨架可能不连通。由于已填充欠缺,可以用如下方法,使骨架基本连通。

在上节填充欠缺的基础上,求最大细度,以最大细度做结构元素;对图象作闭变换,得到的集合对小于最大细度的结构元素为形态闭不变集,即 $X \cdot B = X$ 。

形态学中,有 HMT 变换,其定义为: $X \otimes B = (X \ominus B_1) \cap (X \oplus B_2)$ 其中 $B = (B_1, B_2)$

形态细化的定义为: $X \odot B = X - (X \otimes B)$

本文中,在细化时,取

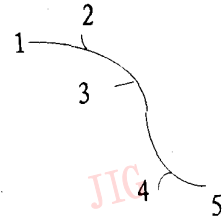
$$L = \begin{bmatrix} 1 & \cdot & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & \cdot & 0 \end{bmatrix}, L' = \begin{bmatrix} \cdot & 1 & \cdot \\ 1 & 1 & 0 \\ \cdot & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ 及其 } 90^\circ \text{ 旋转。}$$

用细化算法也可以提取骨架,它是一个不断抹去轮廓点的过程。算法描述如下:

- (1) $Y = X \odot L \odot L'$
- (2) L 及 L' 旋转 90° , $Y = Y \odot L \odot L'$, 直至旋转一周
- (3) 如 $X = Y$, 迭代结束, 否则做步骤(4)
- (4) $X \leftarrow Y$, 返回步骤(1)

这是一个从东、东南、南、西南、西、西北、北、东北8个方向反复抹去边界点的过程。

计算得到骨架后,对所得到的图进行分析,计算出2个端点;它们之间的路程最远,如图4所示。可对一些较短的分支作删除,得到主运动方向曲线。得到该曲线后,就可以方便地计算精子的参数。



端点1与端点5是所求的主运动方向曲线的端点

图4 细化结果

6 结果与讨论

本文的方法可以有效地识别静态图象的精子。对动态图象,从实际的处理来看(见图5,6,7,8),可以识别精子的运动轨迹,以达到计算临床诊断所需要的数据。在静态处理中作的一些近似是可行的,因为为了区别动态精子的轨迹,通常使各个精子之间不重叠,同时放大倍数小。对动态图的处理,能有效地提取了骨架,得到起点及终点、运动主方向曲线和振幅。利用静态图象分析,可以计算出精子在视野中的个数,以统计精子的个数;然后由动态图象知活动精子个数,可以计算精子的死活比例;利用抽取的精子轨迹,可以估算精子的速度,计算精子的活力。这些都为医学诊断提供了良好的依据。

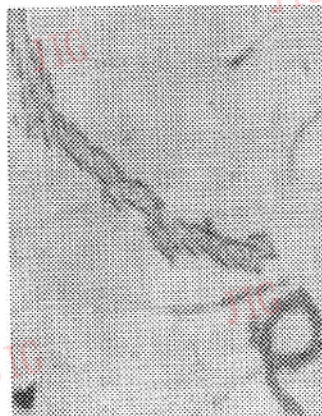


图5 原始动态叠加图象

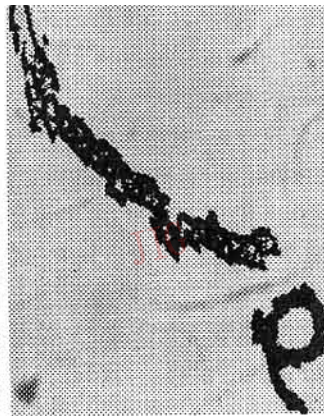


图6 识别两个精子的轨迹



图7 填充并细化的结果

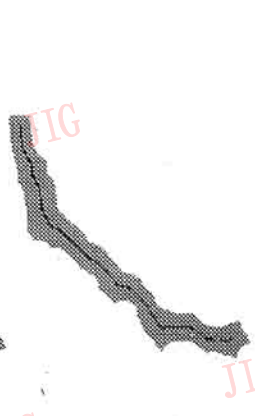


图8 剪枝后结果

参考文献

- 1 Fernand Meyer. Automatic Screening of Cytological Specimens. CVGIP, 1986, 35(3).
- 2 Vincent, Masters B. Morphological Image processing and Network Analysis of Cornea Endothelial Cell Image. SPIE, 1992, 1769.

- 3 Dougherty, Edward R. An Introduction to Morphological Image Processing. Wash. USA; SPIE optical Engineering Press, 1992.
- 4 Serra. Image Analysis and Mathematical Morphology. Press, Academic; London, 1982.
- 5 Stanley R. Sternberg. Grayscale Morphology. CVGIP, 1986, 35(3).
- 6 Lantuejoil C Maisonueave F. Geodesic Methods in Quantitative Image Analysis. Pattern Recognition, 1984, 17: 177~187.



陈天洲 博士,浙江大学计算机系讲师。主要从事于计算机图象处理,科学计算可视化,网络分布处理,人工智能,CAD/CAM 方面的研究。

石教英 浙江大学计算机系教授,博士生导师,浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室主任,中国图象图形学学会副理事长。主要从事于计算机辅助设计,计算机图形学,科学计算可视化,虚拟现实,多媒体网络及计算机图形硬件方面的研究。

Sperm Image Morphological Analysis

Chen Tianzhou, Shi Jiaoying

(State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract A computer-automated system, include static and dynamic sperm image analysis system, developed for object assessment of human sperm density and velocity, which identifies the motility. The hardware sample the static sperm image and dynamic sperm, while the software can recognize the number of sperm in the static image and calculate the skeleton of the track of the sperm. Then the clinical manifestation information will be calculated from the result. The system is helpful to the sperm quality analysis.

Keywords Sperm, Morphology, Analysis

迎接彩色的数字化新时代的到来

——惠普在全国范围开展“大幅面彩色输出中心”认证活动

随着信息产业革命的发展,我们身边正发生着数字化彩色应用的变革。我们生活在一个全新的数字化彩色世界里,照片是彩色的、电影电视是彩色的、街头的广告招贴是彩色的且数字化已广泛应用在我们身边。象数字相机、DVD、数字电视、甚至门锁都是数字化的。据权威机构统计,我们现在的日常数字化的彩色应用已达到了50%,这一比率将很快上升到80%。数字化彩色时代已经到来。

现代社会对大幅面彩色图像的应用与需求在快速增长,对图像处理的要求也越来越高。全方位现代数字化的应用势在必行。惠普公司作为全球信息产业的领导者,有责任推进数字化进程,我们不仅拥有顶尖的产品、先进的技术,还要提供更快捷、方便、高质量的服务给广大用户。为满足市场及用户的需求,自1998年5月惠普公司推出了“大幅面彩色输出中心”的认证活动。深受广大用户的青睐。到目前为至,全国已有23个省、市,50多家被惠普认证的大幅面彩色输出中心。通过数字化的图像处理输出方式,广泛服务于广告、展览展示、建筑渲染、地理信息系统、电脑美术、摄影、商场、零售等各个行业。人们会惊喜地发现 HP DesignJet 出色的打印效果。这种神奇的“打印机”不但打印质量好、幅面大,而且可以在各种介质上,如相纸、油画布、布料、丝绸甚至金属膜上都可以进行创作。我们对传统照片洗印店已经熟悉,就像洗照片一样,你的图片在输出中心经过数字化处理可以打印成你需要的任意尺寸的照片且质量可与照片媲美。惠普公司要把数字化的科技成果推广成为我们的生活必需,这也是数字时代反应到我们日常生活的一种标志。

现在惠普公司又相继推出了“惠普数码彩扩中心”的认证活动。惠普公司不断完善对这些认证中心的支持,通过现代化的网络与连锁性质的服务,使用户更直接、快捷的享受服务。惠普所做的一切都是为了大幅面彩色输出这种数字化新科技能给您带来一个全新的视野空间,为更多的需要它的人提供更完美的数字化解决方案。1999年惠普认证的“大幅面彩色输出中心”将达到一百五十家。这一切也将是一个数字化时代的开端。