

Vevo® 小动物超声心动成像手册



Vevo®小动物超声心动成像手册

课程目标:

本指南指引操作者：

- 识别主要的心脏成像切面
- 了解常用的测量和计算方法
- 常见心脏切面图扫描方法
- 掌握主要计算的估值

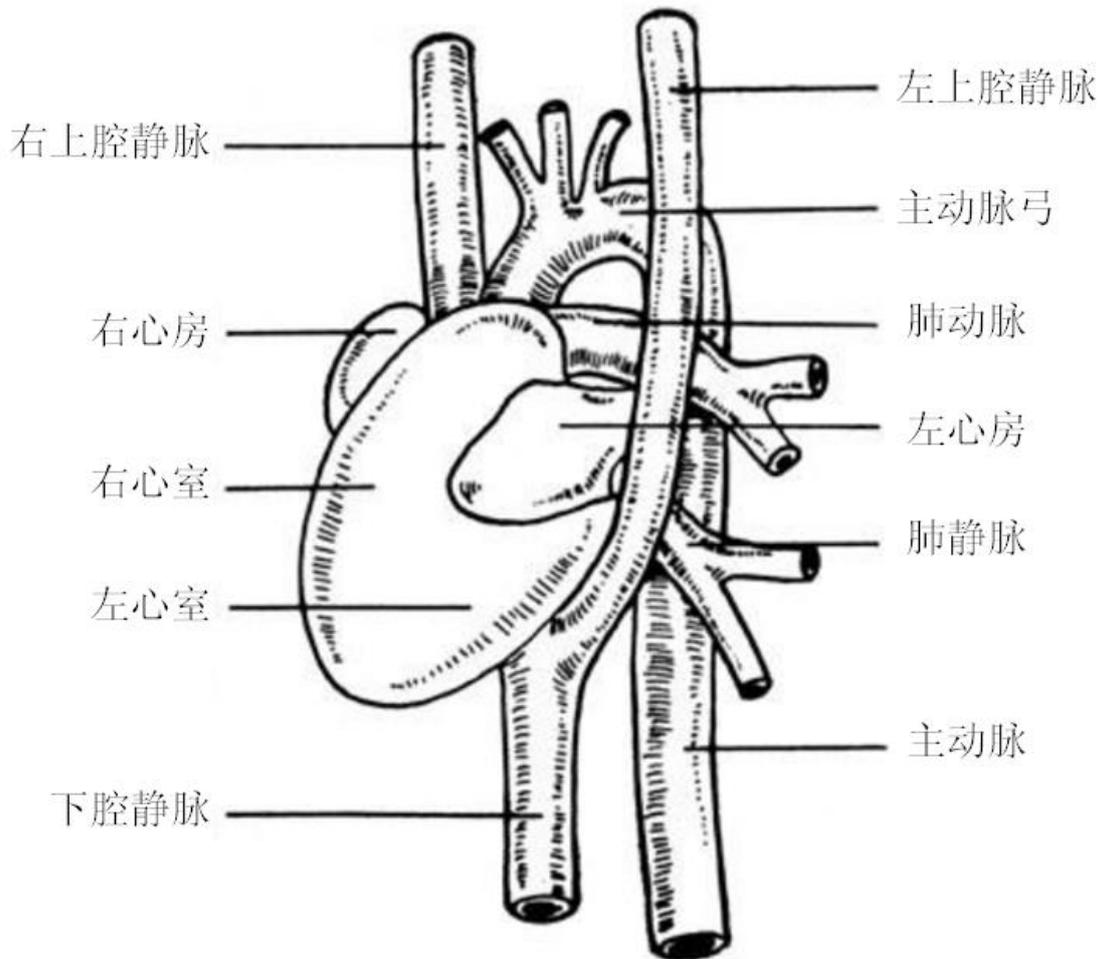


图 1.小鼠心脏解剖图

<http://www.informatics.jax.org/greenbook/figures/figure13-2.shtml>

本指南中使用的成像模式概述

B 模式：

B 模式或灰阶模式，成像用于获取感兴趣区域的二维图像。通过灰度图像可以识别解剖结构，利用软件可以在这种成像模式下进行多种测量。

在超声探头上可以添加一个 3D 马达，使探头在设定的步长范围内平移，软件将多个二维切面重建成三维。利用三维软件可以进行多种测量并对不同平面进行成像观测。

M 模式：

M 模式或运动模式，成像是用来获取一维随时间变化的图像。简单地说，将取样容积（Sample Volume，SV gate）放在感兴趣的区域上，该区域的移动将随时间在频谱中显示。例如，颈动脉壁随时间的运动可以用这种成像来检测。可以用多种软件测量工具测量血管的直径和壁厚。

脉冲多普勒模式：

脉冲波(PW)多普勒模式成像用于分析感兴趣血管内的血流。取样容积（Sample Volume，SV gate）被放置在血管内，系统产生一个脉冲波多普勒曲线，利用软件可以对该多普勒曲线进行速度、加速度和时间测量等信息。

对于 PW 多普勒模式和所有其他多普勒成像模式来说，在透射超声声束和流经血管的血液之间达到一个合适的角度是至关重要的。成像平面应调整为两者夹角

小于 60° ；此时可以进行精确的速度测量。

B 模式和 PW 多普勒模式同时成像，是一种非常实用的小血管实时评估模式。由于 PRF (pulse repetition frequency) 限制，绝对速度测量仅限于实时模式下的低速血流。优化显示参数，使多普勒测量速度范围减小，将大大有助于用户看到小血管并获取多普勒数据。

彩色多普勒模式：

彩色多普勒模式可以观测到快速的血液流动并提供血流的方向，用不同深浅代表流速的不同，颜色代表流向。BART (Blue Away, Red Towards)，通常用来记住与流动方向相关的颜色；蓝色渐远，红色渐近。

对比剂模式：

对比剂模式与 B 模式类似，可用于观察二维解剖结构，但是它包含了特定的分析工具，允许对两幅图像进行参考减法，从而将铜色(或绿色)对比叠加到注入的对比剂上。造影剂用于增强非常小的血管(例如毛细血管)中血流的影像，用于观测和分析。通过分析软件可以进行量化，确定血流动力学参数。

优化参数的概述

B 模式参数

有许多参数可以设置，可以优化 B 模式的图像；下面列出了几个关键参数。

显示方式 (Display Maps)

显示方式用于对检测到的超声信号强度分配灰度颜色，可以优化特定解剖目标的灰度分化。Vevo 成像系统带有许多出厂设置，可以从中选择，以获取最佳质量的图像。

动态范围 (Dynamic Range)

动态范围可以影响显示在图像上的灰度强度范围。与 Display Maps 结合，调整动态范围，可以获取最佳质量的图像。

焦点区域 (Focal Zones)

Vevo 成像平台 (Vevo 3100 ， Vevo LAZR-X 及 Vevo 3100LT) 可以有 1 个、2 个或 3 个焦点区域，其中 2 个和 3 个焦点区域间距可调。使用额外的焦点区域可以使图像聚焦到更广的深度，但是增加焦点区域会降低最大帧频。聚焦区域的数目和位置应根据解剖结构来选择。

线性密度 (Line Density)

线性密度允许用户改变超声波图像上线与线之间的空间。增加线条密度会增加分辨率、显示精细度，从而整体提高图像的质量。但是，它会降低系统能够成像的最大帧频。

M 模式参数：

可以设置多种参数来优化 M 模式成像。在 M 模式成像之前，应对 B 模式图像进行优化，以获得最佳的图像质量。取样容积（Sample Volume，SV gate）根据解剖目标的大小进行调整，时间轴显示长短根据用户实验需求进行调整（Sweep Speed）。

选择合适的探头成像

当考虑所需采集切面，动物大小，心脏大小等因素时，成像探头的选择就变得很重要。

当在小鼠上获取 B 模式图像时，探头推荐 MX400（30MHz）和 MX550D。

当成像大鼠 B 模式图像时，应根据动物的大小使用 MX250 探头（20MHz）或 MX201 探头（15MHz）进行采集。

软件测量

Vevo 成像软件允许用户进行多次测量和计算。

在 B 模式成像中可以进行一般尺寸测量，包括面积和体积测量。在多普勒和对比成像模式下，可以完成血管生成的评估。

动物准备

成像时动物需要被麻醉，以避免图像采集中的移动。比较典型的选择是异氟烷，维持麻醉浓度 1-2%。动物先在诱导盒中被麻醉，然后仰卧位放置于生理信息监测平台上。在眼睛上涂抹眼部保护润滑膏以防止眼部干燥；在生理信息监测台的铜片上涂抹少量导电胶，将动物脚掌固定于其上，这样可以获得动物的 ECG 和呼吸的生理信息；插入直肠温度探针监测动物体温。

用脱毛膏脱去成像目标区的毛发，然后用水清洗，再采集图像。

心超成像指南纲要

I . 胸骨旁长轴切面 (PLAX)	9
A . B 超长轴切面	9
B . M 超长轴切面	11
C . 左心室流出道 (LVOT) 测量	12
D . 肺动脉流出道	13
E . 上腔静脉血流	14
F . 肺静脉	15
II . 胸骨旁短轴切面 (PSAX)	16
A . 胸骨旁短轴切面 B 超图像	16
B . 胸骨旁短轴切面 M 超图像	17
C . 短轴切面调整后可获得的其他解剖结构	18
III . 四腔心切面	19
A . 心尖四腔切面测量的二尖瓣血流	20
B . 心尖四腔切面三尖瓣流入血流	21
IV . 主动脉弓切面	22
V . 胸骨旁右侧长轴切面	24
VI . 胸骨上切面	24
VII . 组织多普勒	26
VIII . 辛普森测量	27
IX . 左心室 (LV) 重量	29

X . 彩色多普勒成像.....	30
XI . 压力-容积测量	31
XII . 正常参考值	33

I. 胸骨旁长轴切面 (PLAX)

PLAX 切面可见的解剖结构：

- 左心室 (LV)
- 右心室
- 左心房
- 左心室前壁
- 左心室后壁
- 室间隔
- 主动脉
- 肺动脉
- 主动脉瓣
- 二尖瓣
- 肺静脉
- 乳头肌

A . B 超长轴切面

探头定位：

将探头垂直放置，切迹朝向动物头部。然后逆时针旋转探头大约 45°。

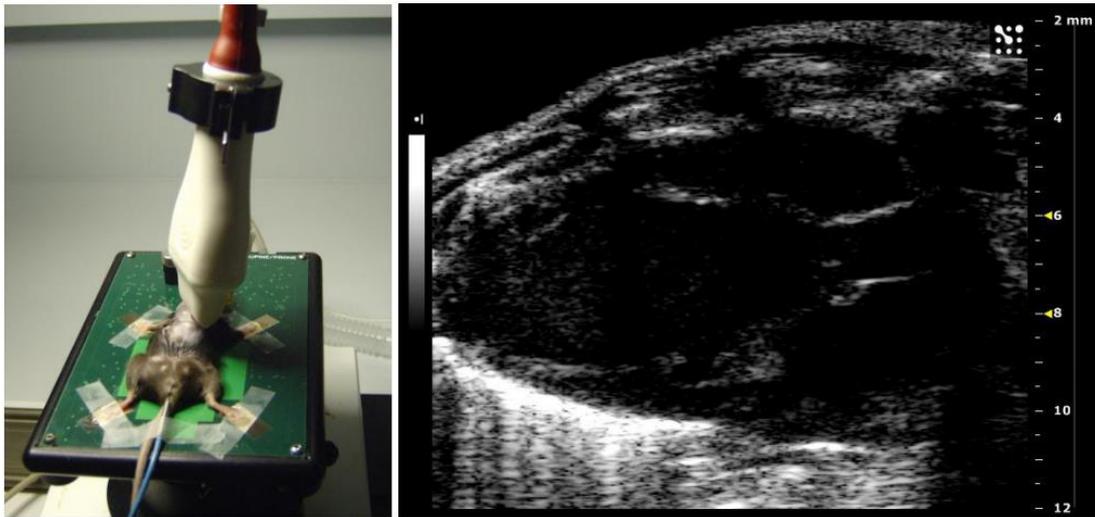


图 2：图像显示了 MS400 探头在小鼠上的位置，以获得胸骨旁长轴视图(L)。左心室长轴切面 B 超图像(R)。

可得到的测量和计算数据：

- 左心室面积描记
- 左心室流出道

LV trace

激活 trace 工具，在测量工具框中点击  键。然后在长轴舒张期沿着心室内膜描记，追踪心内膜区域。然后重复此步骤描记收缩期。所有测量步骤完成后，将得到以下计算数据：

- 舒张期和收缩期面积
- 舒张期和收缩期容积
- 每搏输出量
- 射血分数
- 心输出量

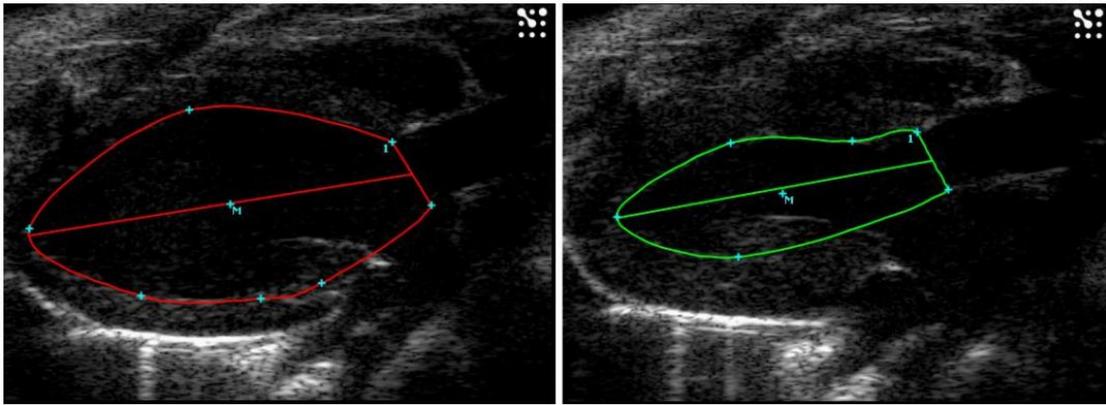


图 3：长轴切面获得的舒张期左心室描记（左图）。长轴切面获得的收缩期左心室描记（右图）

B . M 超长轴切面

要获得准确的 M 超图像，左心室必须是水平位。将 M 超测量线放在乳头肌后缘。

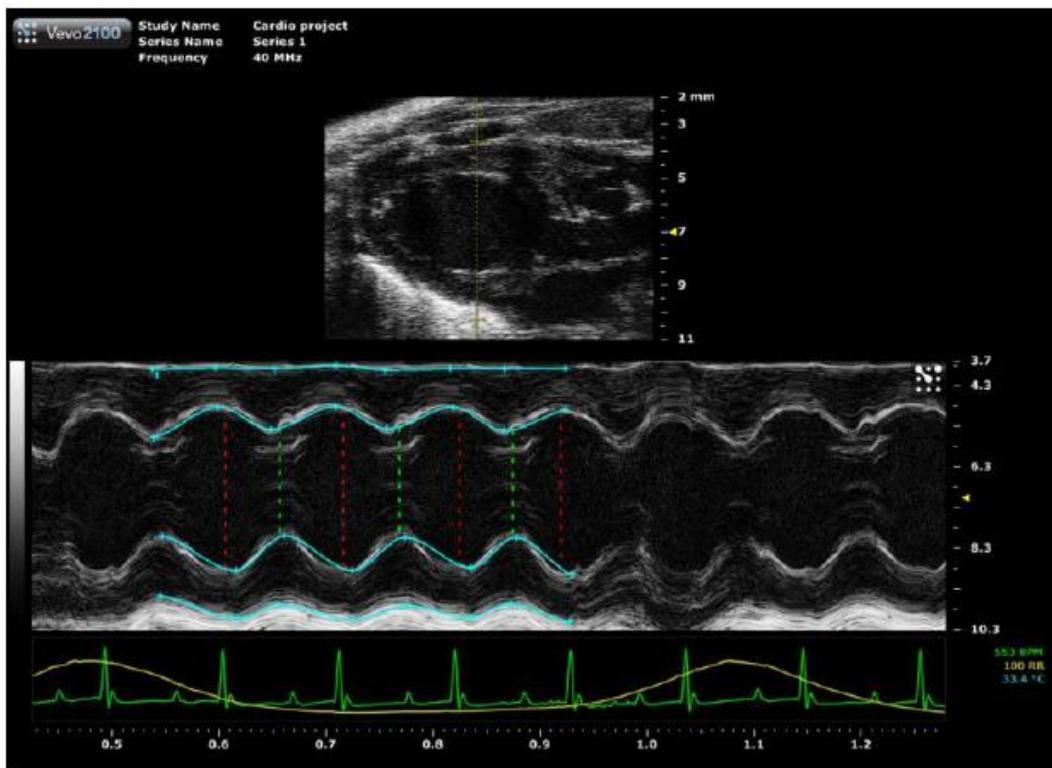


图 4. 胸骨旁长轴 M 超切面，显示 M 超取样容积的位置和心室前、后壁的描记。

可获得的测量和计算值：

- 舒张期和收缩期的左心室前壁厚度 (LVAWd , LVAWs) , 舒张期和收缩期的左心室后壁厚度 (LVPWd , LVPWs) , 舒张期和收缩期的左心室内径 (LVIDd , LVIDs) , 舒张期和收缩期的室间隔厚度 (IVSd , IVSs) 。
- 左心室 M 超 trace

左心室 M 超 trace

这个测量在长轴或短轴切面都可以获得。激活 trace 工具，在 M 超窗口下，测量工具框中点击  键。沿左心室前壁心内膜轨迹描记，然后同样描记左心室后壁，连续描记 3 个心动周期。描记完成后，可获得以下计算值：

- 舒张期和收缩期面积
- 舒张期和收缩期容积
- 每搏输出量
- 射血分数
- 心输出量

注意：用这种方法获得的左心室数据与左心室 B 超切面获得的数据等同；但用于推导的公式不同。

C . 左心室流出道 (LVOT) 测量

左心室流出道测量是在主动脉瓣瓣叶水平将标记从一边量到另一边。或者，可以在此位置采集 M 超图像。

探头定位：

同胸骨旁长轴切面



图 5. 左心室流出道视图显示长度测量工具的位置。

D. 肺动脉流出道

利用脉冲多普勒可以测量肺动脉流出血流；可获得血流峰值和速度时间积分。

探头定位：

- 1) 在胸骨旁长轴切面，将探头稍微转向动物左肩，将看到肺动脉。
- 2) 在胸骨旁短轴的基础上，将探头朝向老鼠头侧移动，将会看到左室流出道出口，呈环形，围绕在出口外的血管即肺动脉，同时可以看到左右两个肺动脉分支。

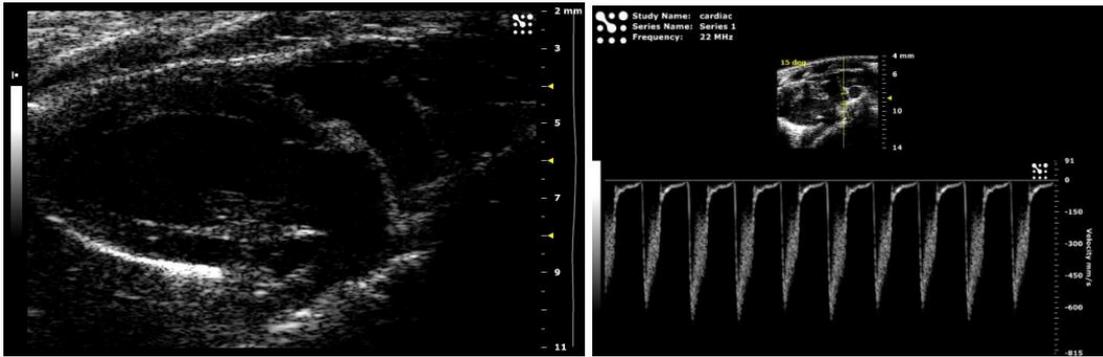


图 6：胸骨旁长轴切面显示的肺动脉（左图）。肺动脉的脉冲多普勒图像（右图）

可获得的测量和计算值：

- 肺动脉速度时间积分（PV VTI），血流峰值（PV peak V），加速时间（PAT），射血时间（PET），右室心输出量（RV CO）。

E. 上腔静脉血流

左右上腔静脉与主动脉平行，分别位于主动脉临近的左右两侧。可用多普勒测量其血流。

探头定位：

在胸骨上切面，将探头稍微转向动物右侧或左侧，将分别看到右上腔静脉或左上腔静脉。



图 7. 上腔静脉的脉冲多普勒图像。

F. 肺静脉

肺静脉流入左心房；在标准的胸骨旁长轴切面可以获得肺静脉图像并测量血流。

探头定位：

在胸骨旁长轴切面，调节 X 轴位移，直到左心房和肺静脉进入视野。

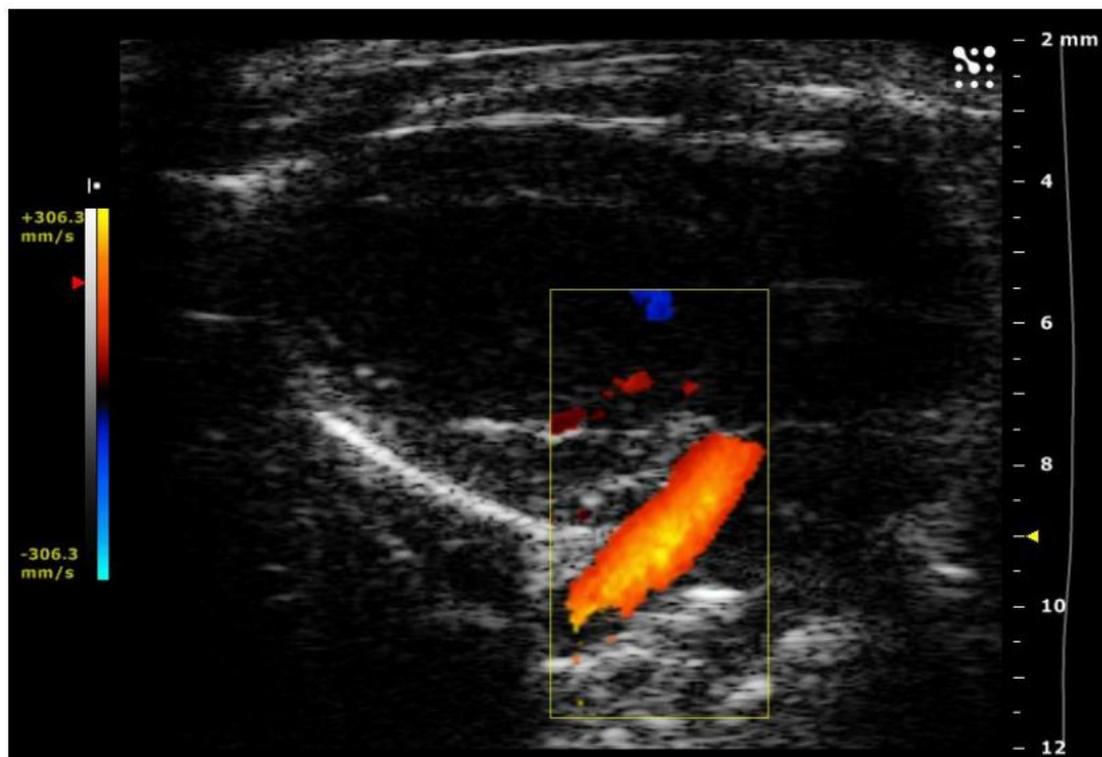


图 8：进入左心房的肺静脉的彩色多普勒图像。请查看 IX 章中关于彩色多普勒的内容。

II . 胸骨旁短轴切面 (PSAX)

胸骨旁短轴切面可见以下解剖结构：

- 左心室
- 右心室
- 前壁
- 后壁
- 室间隔
- 乳头肌

A . 胸骨旁短轴切面 B 超图像

探头定位：

在胸骨旁长轴切面，将探头顺时针旋转 90 度，可获得胸骨旁短轴切面。将探头旋转 90 度后，通常还需要进一步调整 y 轴位移才能获得正确的切面。

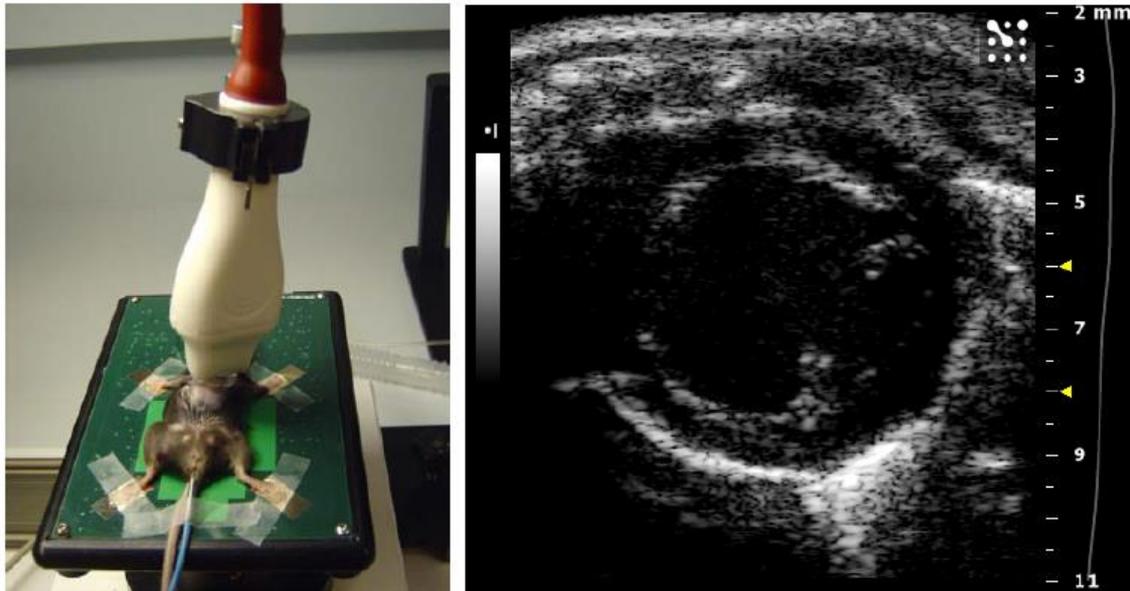


图 9：用 MS400 探头采集小鼠的胸骨旁短轴切面，图中可见探头定位（左图）。左心室短轴切面的 B 超图像（右图）。

可获得的测量和计算值：

心外膜和心内膜描记（请查看章 X）

B . 胸骨旁短轴切面 M 超图像

M 超测量面应位于左心室的中央区，通常位于乳头肌的中间。在此切面获得的测量值应与长轴获得的数值有良好的一致性。

探头定位：

同胸骨旁短轴切面

可获得测量和计算值：

- 舒张期和收缩期的左心室前壁厚度 (LVAWd , LVAWs) , 舒张期和收缩期的左心室后壁厚度(LVPWd , LVPWs) , 舒张期和收缩期的左心室内径(LVIDd ,

LVIDs)，舒张期和收缩期的室间隔厚度（IVSd，IVSs）。

- 左心室 M 超描记（请查看章 I，同 PLAX）

C. 短轴切面调整后可获得的其他解剖结构

在标准胸骨旁短轴切面，将探头移向主动脉根部，将在中央看到主动脉瓣。三尖瓣位于动物右侧（屏幕左侧），肺动脉瓣在动物左侧（屏幕右侧）。在此切面也可以看到冠状动脉。

探头定位：

在标准胸骨旁短轴切面，将探头移向主动脉根部（朝向动物头部）直到主动脉瓣进入视野。

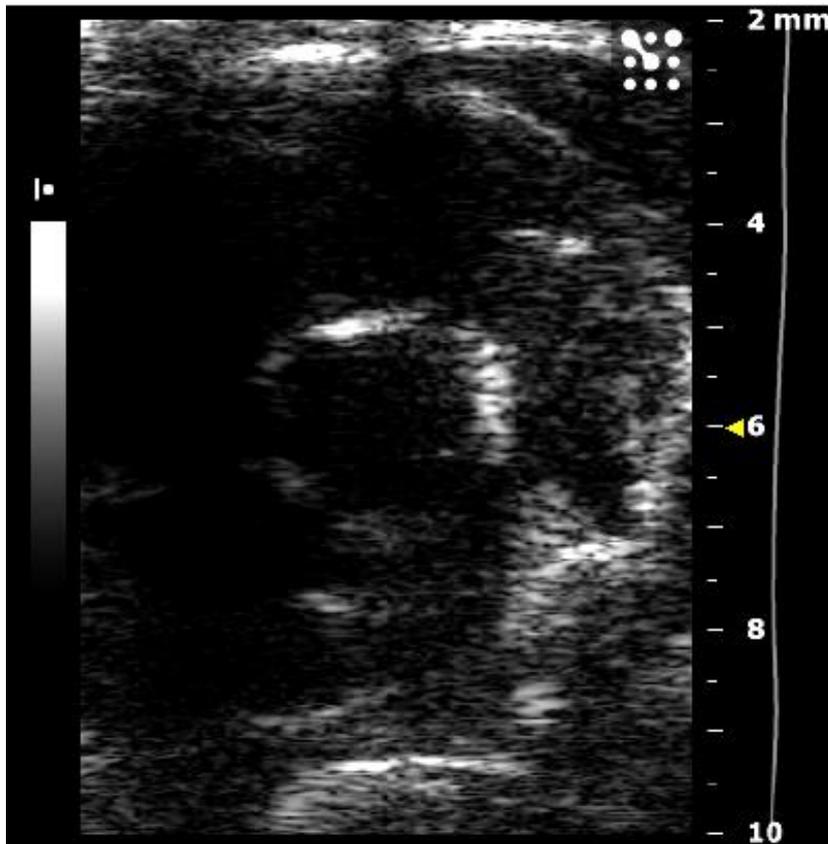


图 10：在高位短轴切面采集的主动脉和肺动脉 B 超图像。

III . 四腔心切面

在四腔心切面可见到以下解剖结构：

- 左心室
- 左心房
- 右心室
- 右心房
- 二尖瓣
- 三尖瓣

采集心尖四腔切面可以看到左右心室，同时心房将出现在屏幕下方。这个切面可以为二尖瓣和三尖瓣的脉冲多普勒提供准确的采样角度。

探头定位：

在短轴切面，将动物头部向下倾斜旋转，同时倾斜探头角度，探头臂朝向操作者。

这样将获得自心尖部切下的心脏冠状切面视图。

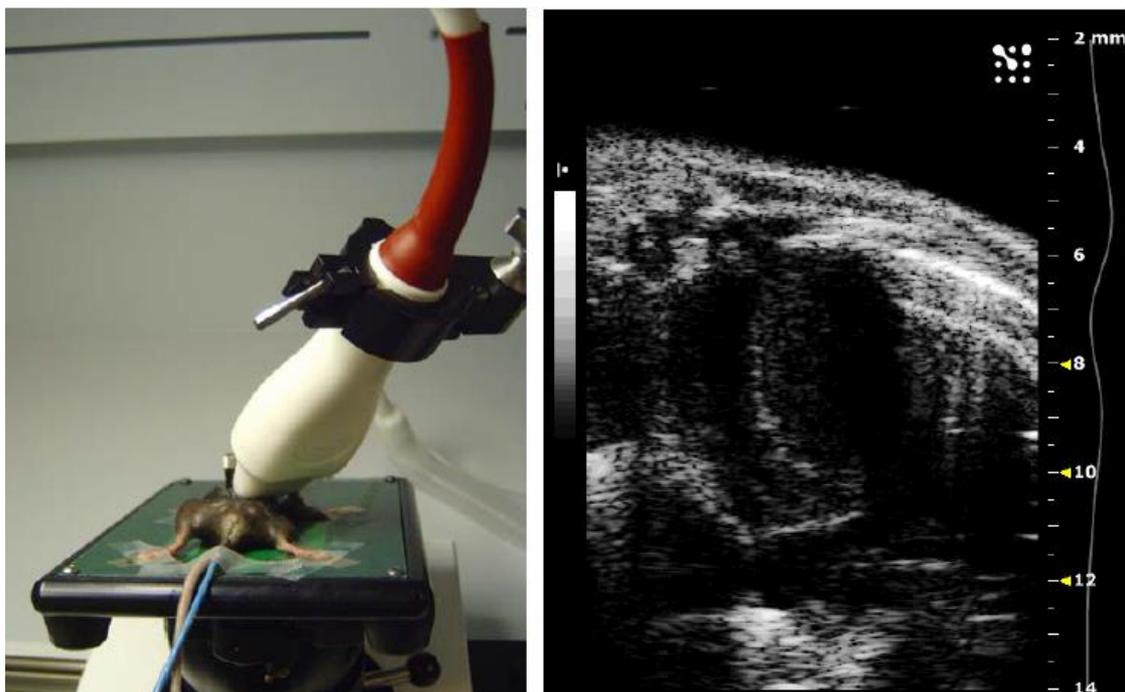


图 11：用 MS400 探头采集小鼠心尖四腔切面，图中可见探头定位（左图）。心尖四腔切面 B 超图像（右图）。

A . 心尖四腔切面测量的二尖瓣血流

将取样容积置于二尖瓣下（心室内）

探头定位：

同心尖四腔切面

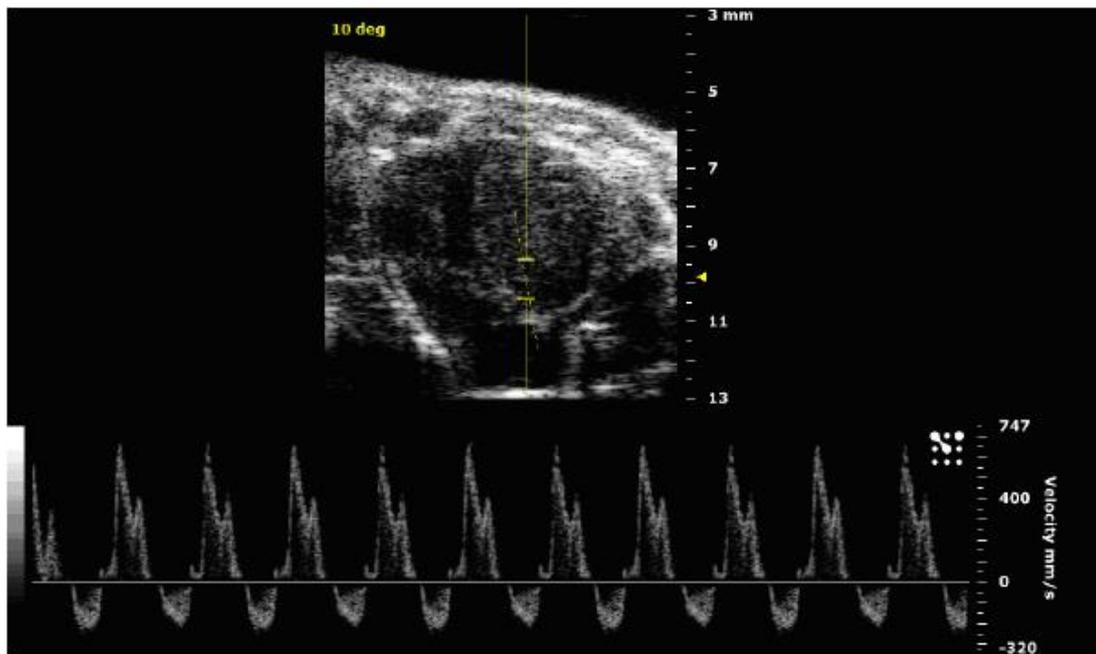


图 12：心尖四腔切面二尖瓣脉冲多普勒图像。

可获得的测量和计算值：

- 二尖瓣等容舒张和收缩时间（IVRT，IVCT），舒张早期血流充盈和心房收缩期血流峰值（Peak E，Peak A），二尖瓣血流速度时间积分（VTI），主动脉射血时间（AET），二尖瓣减速时间（MV Decel）

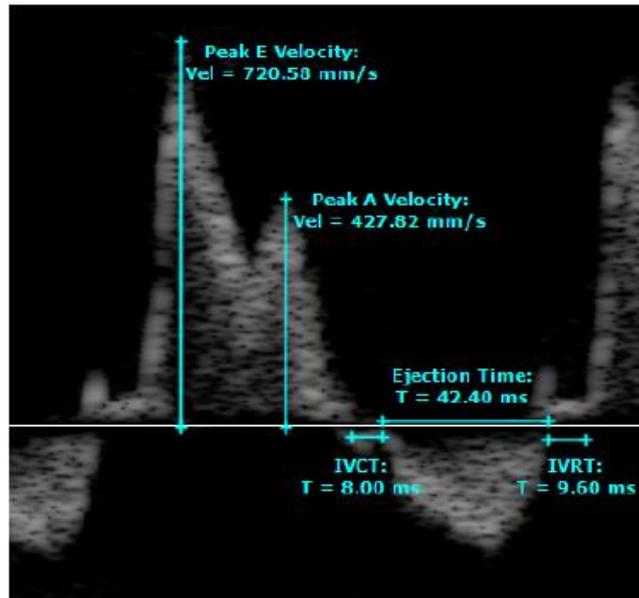


图 13：心尖四腔切面采集的二尖瓣脉冲多普勒图像，及可获得的测量数据。

B. 心尖四腔切面三尖瓣流入血流

将取样容积置于三尖瓣下（心室内）

探头定位：

同心尖四腔切面

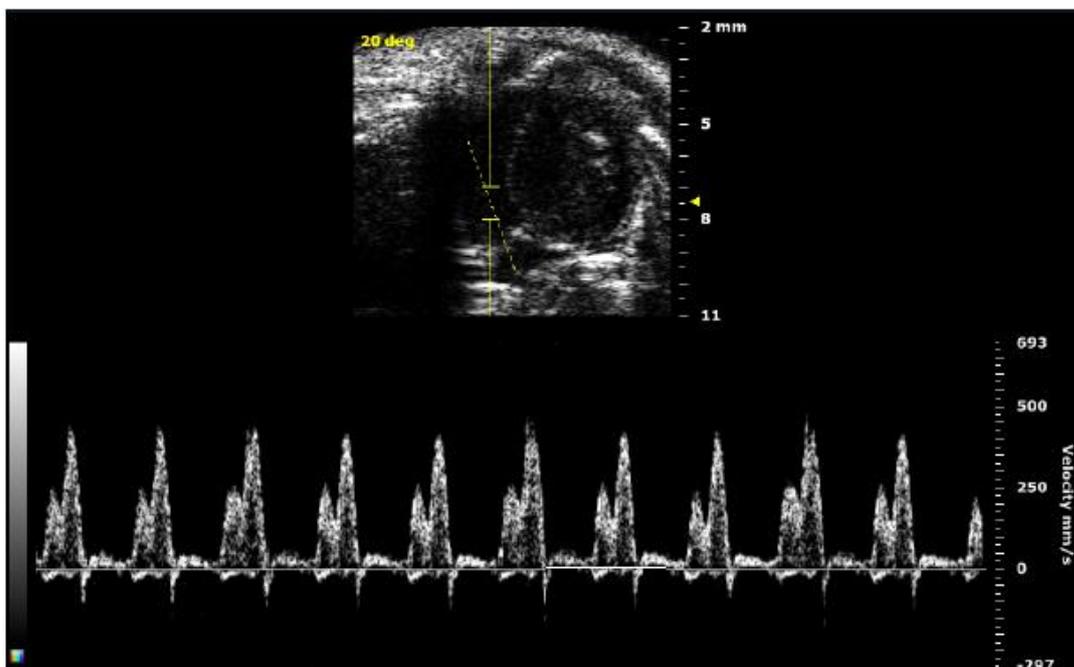


图 14：在心尖四腔切面采集的三尖瓣流入血流的脉冲多普勒图像。

可获得的测量和计算值：

- 三尖瓣等容舒张和收缩时间 (IVRT, IVCT), 舒张早期血流充盈和心房收缩期血流 (Peak E, Peak A), 三尖瓣血流速度时间积分 (VTI), 肺动脉射血时间 (AET), 三尖瓣减速时间 (TV Decel)

IV . 主动脉弓切面

在主动脉弓切面可见以下解剖结构：

- 升主动脉
- 降主动脉
- 无名动脉
- 左颈总动脉
- 左锁骨下动脉

此切面可见到主动脉弓及这个区域的动脉分支。

探头定位：

主动脉弓切面是经调整的胸骨旁右侧切面。探头切迹朝向动物下颌；稍微顺时针旋转探头可有助于优化图像。

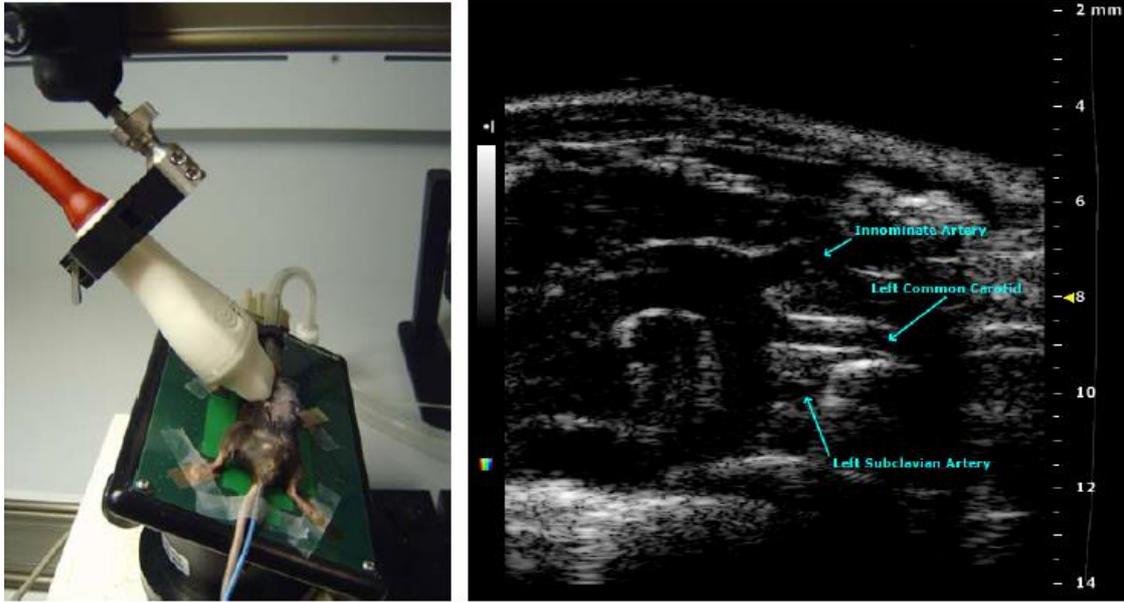


图 15：MS400 探头采集小鼠主动脉弓切面，图中可见探头定位（左图）；主动脉弓 B 超图像（右图）

在升主动脉和降主动脉放置脉冲多普勒取样容积可获得主动脉血流峰值。描记血流频谱可以获得速度时间积分数据（VTI）

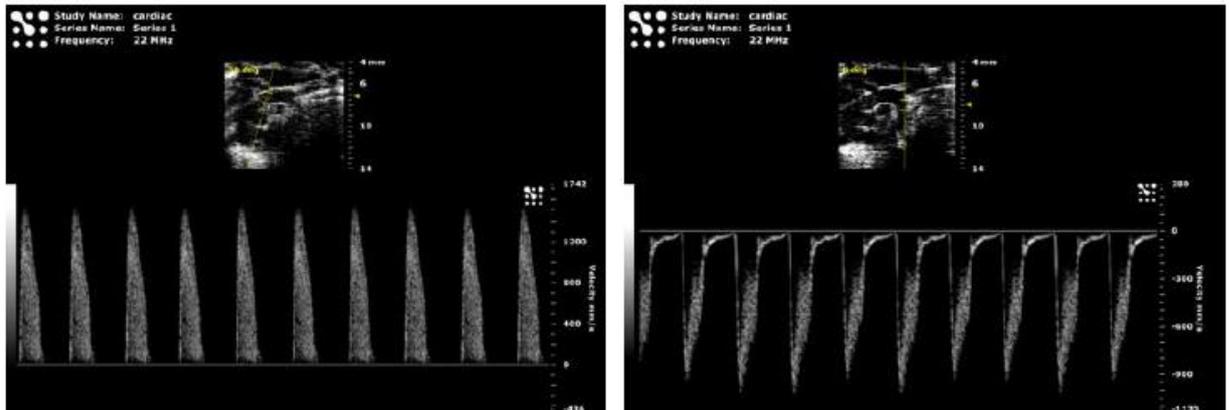


图 16：在主动脉弓切面采集的升主动脉的脉冲多普勒图像（左图）；在主动脉弓切面采集的降主动脉的脉冲多普勒图像（右图）。

V. 胸骨旁右心长轴切面

胸骨旁右心长轴切面用于评价右心室。

探头定位：

在胸骨旁长轴切面，将探头臂向动物右侧倾斜约 45 度。同时可能需要将动物床稍微向动物左侧倾斜，使右心室进入成像视野。

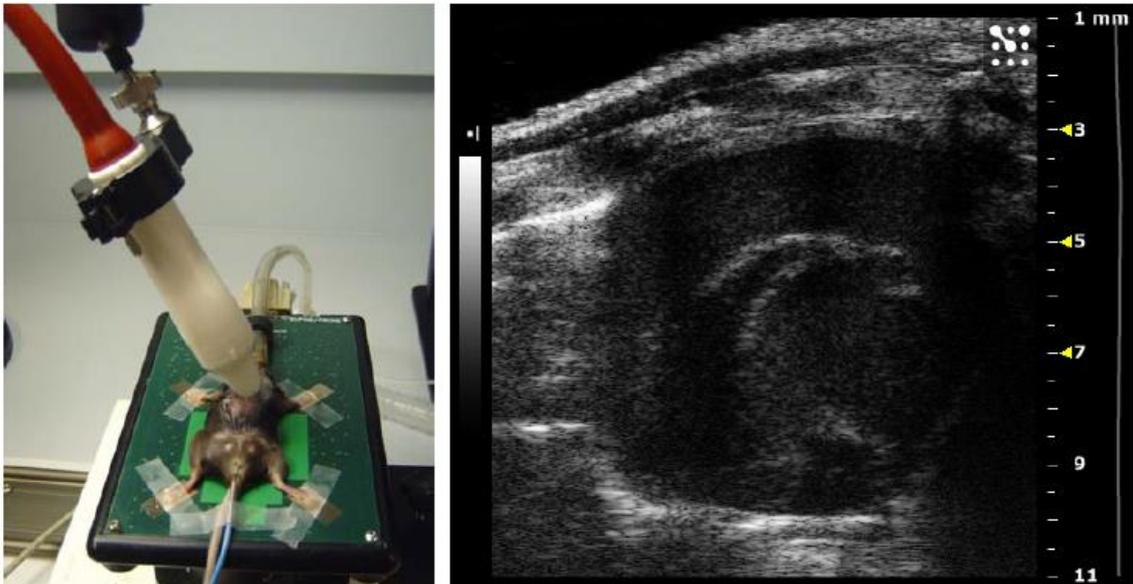


图 17：用 MS400 探头采集小鼠胸骨旁右侧长轴切面，图中可见探头定位（左图）；胸骨旁右侧长轴切面的 B 超图像（右图）。

VI. 胸骨上切面

在胸骨上切面可见以下解剖结构：

- 主动脉
- 主动脉瓣
- 左心室

主动脉在胸骨旁长轴切面也清晰可见，但主动脉倾斜角度不能超过 60 度（与垂直方向相对角度），这样才可以获得更准确可靠的多普勒血流数值。因此，通

常胸骨上切面生成这样角度，以获得测量升主动脉和主动脉瓣血流速度。在 Vevo 系统中，超声声束角度（Beam steering）可调整 25 度，因此主动脉倾斜角度不超过 85 度即可（60 度+25 度）。如果获得胸骨上切面比较困难，也可以考虑在长轴切面采集主动脉多普勒数据（通过调整超声声束角度）。

注意：调整超声声束角度将降低检测灵敏度。因此只有在无法获得低于 60 度角度的血流时，才建议采用此方法。

探头定位：

将探头放在胸廓开头正中线。将探头尾端向动物头部倾斜约 50 度。这样基本类似长轴切面，但图像逆时针旋转了 50 度。将多普勒取样容积放在主动脉瓣上方，可获得主动脉脉冲多普勒血流。

正常情况下，脉冲多普勒血流速度范围是 100-120cm/sec。



图 18：用 MS400 探头采集小鼠胸骨上切面，图中可见探头定位（左图）；胸骨上切面 B 超图像（右图）。

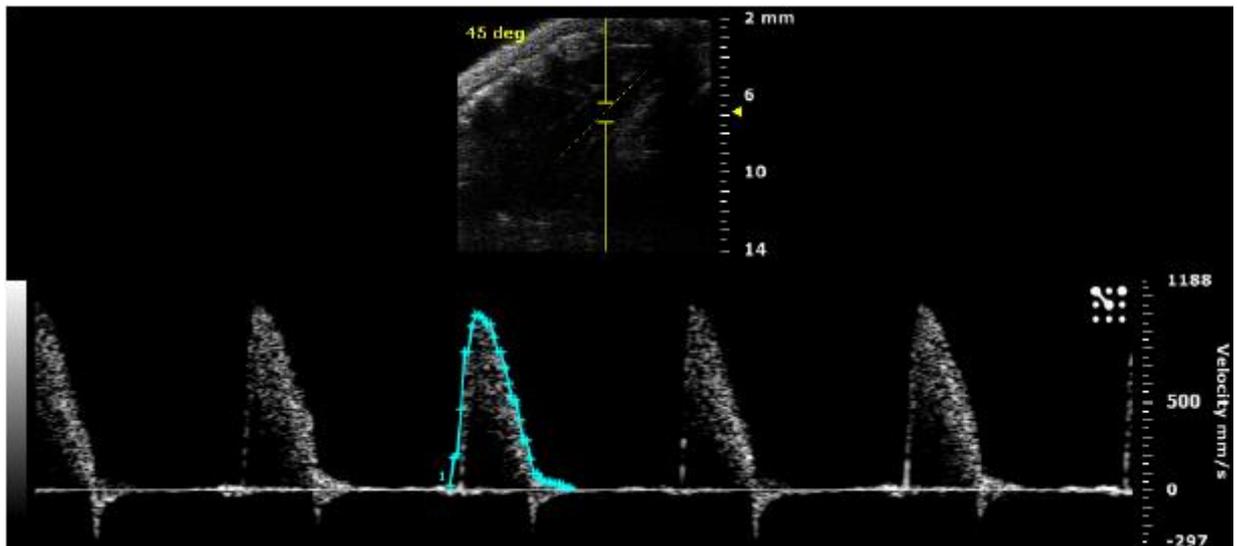


图 19：胸骨上切面获得的主动脉瓣流出血流的脉冲多普勒图像，图中显示 VTI 描记。

可获得的测量和计算值：

- 主动脉速度时间积分 (Ao VTI)，峰值血流 (Ao peak V)，加速时间 (AAT)，射血时间 (AET)

主动脉 VTI trace

要获得 VTI 描记，如果血流频谱位于基线之上，在“peak”下拉菜单中选择“+”；如果在基线之下，选择“-”。



VII. 组织多普勒

组织多普勒测量组织运动速度而不是血流的速度。它可以用于检测和评估左心室室壁心肌的健康程度或用于评价二尖瓣环。常用的评估切面是心尖四腔切面（请参考章 III）。

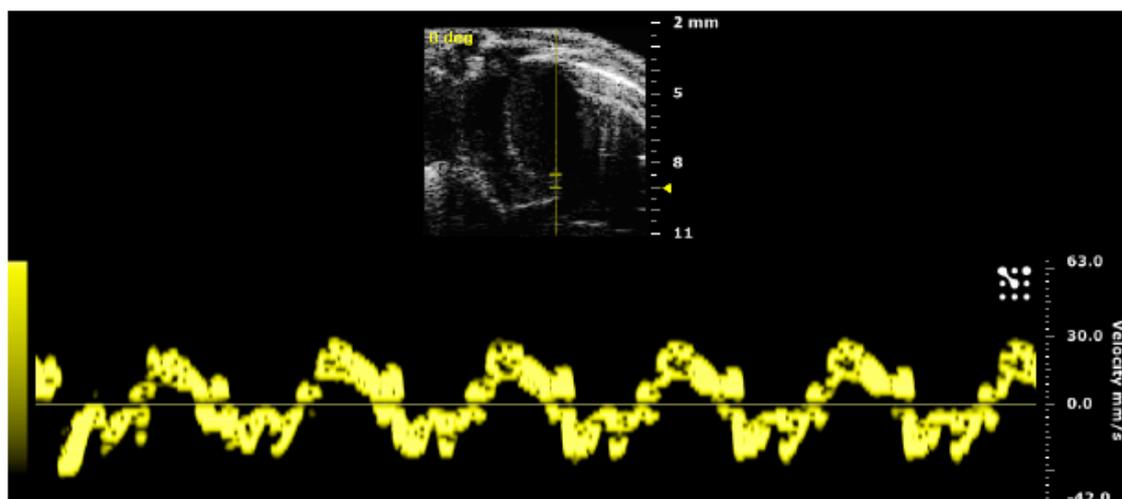


图 20：在心尖四腔切面采集的二尖瓣环的组织多普勒图像。在这张图中，可以测量 E' 峰和 A' 峰，通过 E' /A' 比值可以评估心肌健康程度。

VIII . 辛普森测量

辛普森测量法是在舒张期和收缩期的多个心脏平面上测量左心室，可以获得左心室舒张期和收缩期容积，以及每搏输出量。

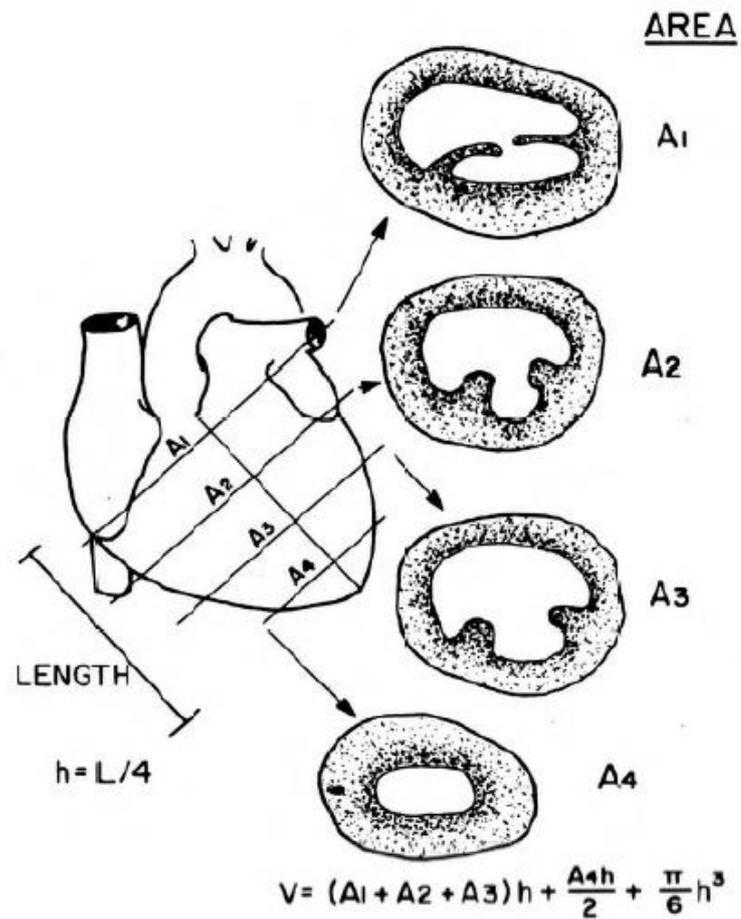


图 22. 辛普森测量方法所需的切面示意图

工作流程：

1. 在三个不同的水平采集三个短轴切面图像。例如，一个靠近心尖部 (SimpleAreaDist)，一个位于中央区靠近乳头肌短轴切面 (SimpAreaMid)，一个位于主动脉根部之下 (SimpAreaProx)。在每个切面，描记舒张期和收缩期心内膜边界。
2. 采集一个胸骨旁长轴切面。分别在舒张期和收缩期测量左心室长度，即测量从主动脉环到心内膜边缘的长度。
3. 完成测量后，将获得各项计算值。

IX. 左心室(LV)重量

工作流程

1. 采集一个舒张期的胸骨旁短轴切面
 - 描记左心室心内膜 (ENDOarea;d,s)
 - 描记左心室心外膜 (EPIarea;d,s)
2. 分别采集舒张期和收缩期的胸骨旁长轴切面
 - 测量舒张期和收缩期的心内膜和心外膜长度 (ENDOmajr;d,s ,
EPImajr;d,s)
3. 测量完成后，将获得各项测量值

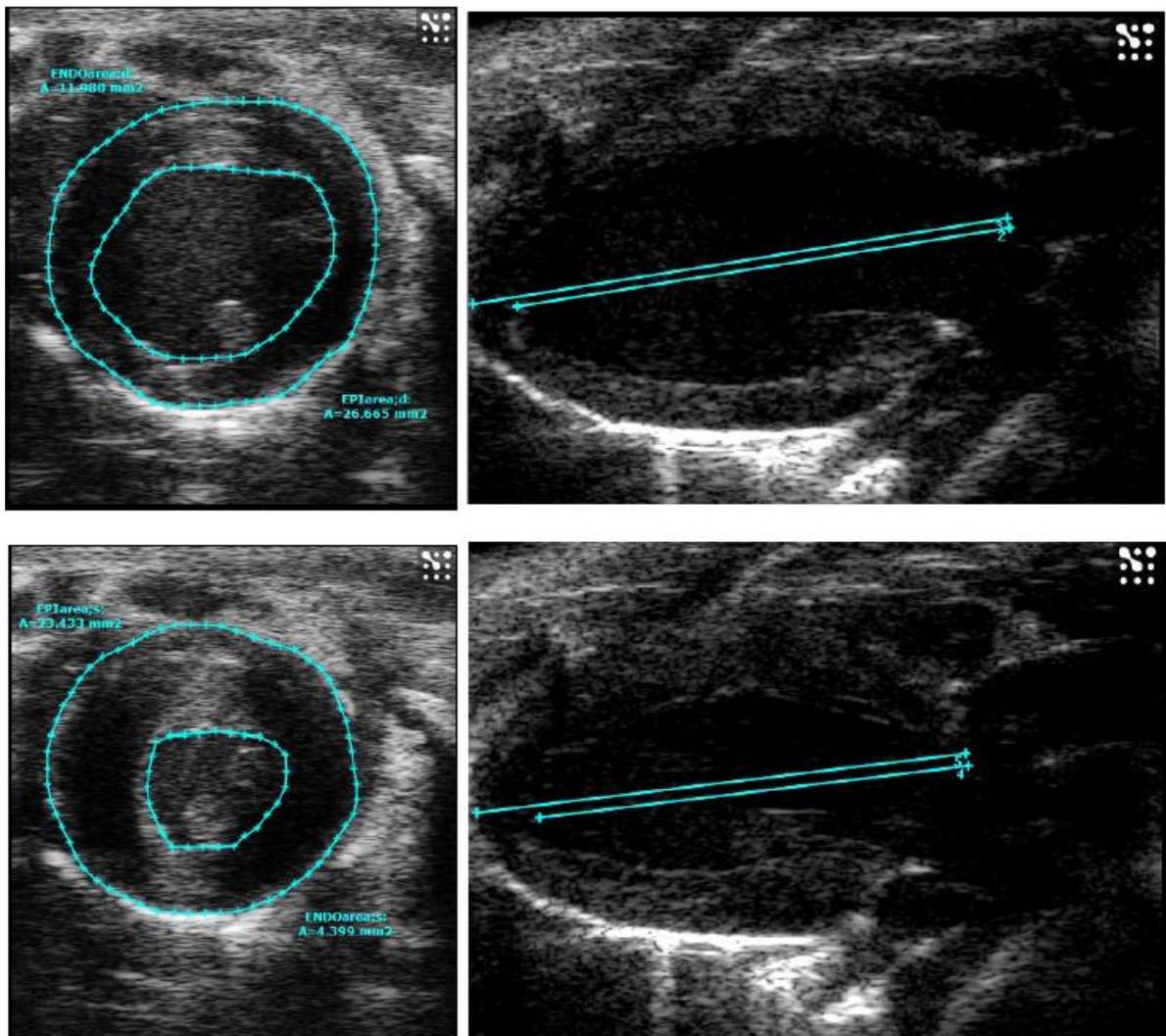


图 23. 舒张期左心室心内膜和心外膜面积描记（左上图）；舒张期左心室心内膜和心外膜长度（右上图）；收缩期左心室心内膜和心外膜面积描记（左下图）；收缩期左心室心内膜和心外膜长度（右下图）。

X. 彩色多普勒成像

彩色多普勒是获取感兴趣区域中血流模式的有力工具。某些病理性改变如异常高的流速和反流，都可以通过其特异的彩超图像得到辨别。

对于正常的动物，彩色多普勒的优化设置可以直接选择预设中的“fast flow”模式。但是对某些生理异常的动物模型，彩色多普勒设置需要手动调整，以获得

最优化的图像质量。

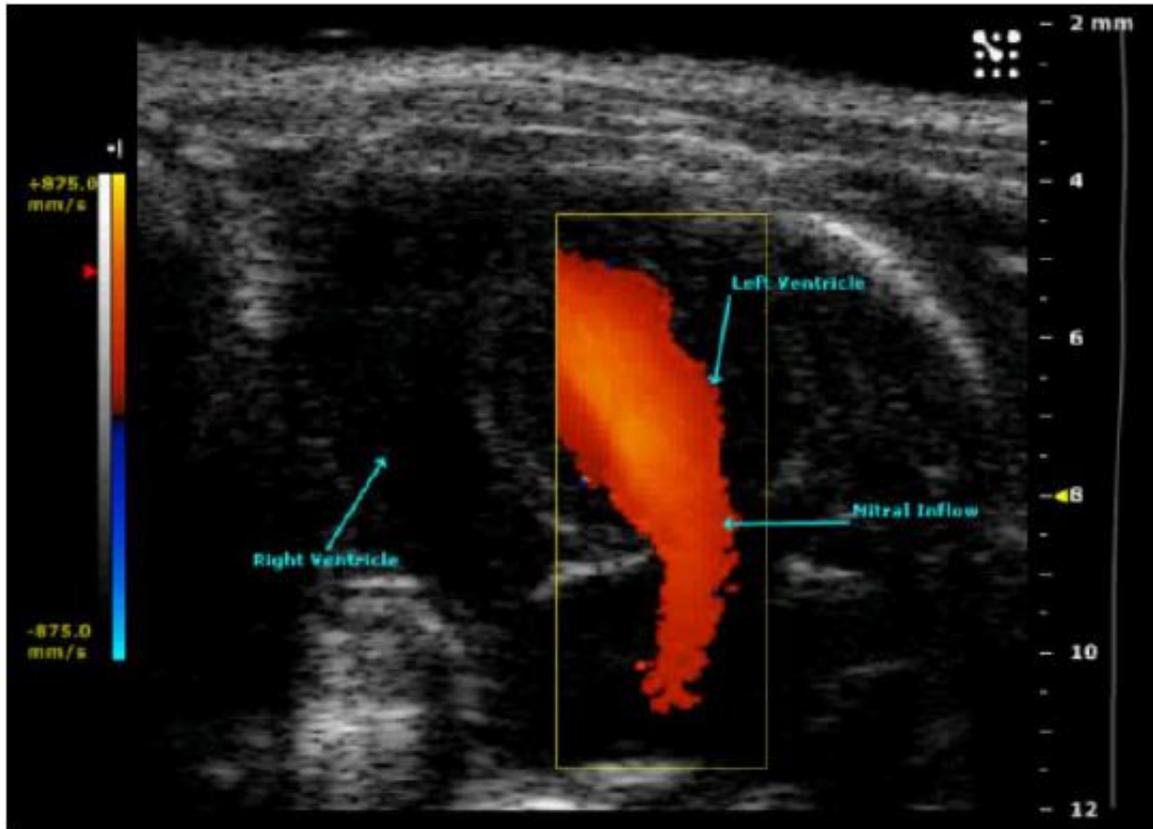


图 24. 显示从左心房流入左心室的二尖瓣流入血流的彩色多普勒图像。

XI . 压力-容积测量

Vevo2100 超声系统能够整合来自第三方持续血压监测系统的血压信号。例如：

- Millar 公司的压力监测导管；
- Data Science International (DSI) 公司的遥测压力传感器

整合的血压数据可以和 Vevo 超声图像及相应的测量值结合进行以下分析：

- 压力-容积分析
- 血管应力分析



图 25. 从短轴切面（底部）中获得血压信号，生成压力-容积图的示例（顶部）。

XII . 小鼠和大鼠的正常参考值

参数	小鼠	大鼠
射血分数	55-85%	55-80%
缩短分数	30-50%	30-50%
左心室重量	65-90mg	60-100mg
每搏输出量	40-70 μ l	100-135 μ l
心输出量	20-35ml/min	40-55ml/min

以上数值随动物品系、大小、性别和健康状况而改变，仅作参考。