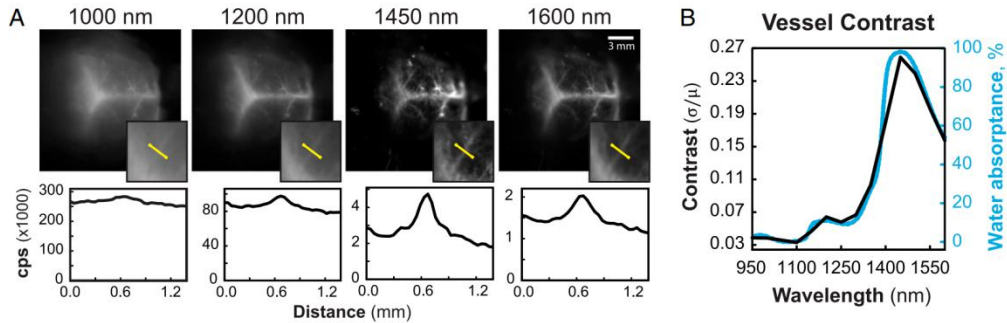


红外二区活体成像对比度的优化思路：水吸收的影响

活体成像的图像对比度和穿透深度可以通过选择红外二区成像波长进行调节。在 NIR-II 波段中，水的吸收峰值(接近 1450 nm)处，成像可以获得最高的图像对比度。



研究背景：长期以来，NIR-II 体内成像由于有较高的组织穿透深度，被认为是体内研究的最佳成像窗口。然而大多数组织中的折射率具有不均匀性，使得分辨率降低、信号减弱，而尽可能在更长的波长下成像可以最大程度地减少散射的影响。与可见光和近红外二区成像相比，红外二区(NIR-II)荧光成像具有更高的荧光团敏感性、更高的组织穿透深度和更大的空间分辨率，这大大提高了图像的对比度。本文作者通过实验，发现荧光波长在 1450nm（水的吸收波长）左右，可以获得最佳的活体成像信背比。

首先，作者研究了在 SWIR 波长下 3D 组织体模中组织散射、组织吸收和荧光对比度之间的关系。作者使用了含 1%脂质的水(H_2O)和含 1%脂质的氧化氘(D_2O)两种液体组织模型。 H_2O 的体模具有散射和吸收的性质，而 D_2O 的体模表现出近似相等的散射特性，但在 1450nm 处没有吸收(图 1A)。因此，我们使用 D_2O 体模来研究散射对对比度的影响，而 H_2O 体模则是在 1450nm 存在吸收的情况下散射的影响。我们用混合荧光量子点填充两条玻璃毛细血管，并将其浸入两种材料中，用 808nm 的光激发，我们发现只有在 1450nm 吸收存在的情况下，对比度才会随着波长的变化而显著变化(图 1B、1C)。在 D_2O 模型中，对比度随着 SWIR 波长的增加而略有增加，而在 H_2O 模型中，对比度总体上增加，并大幅增加到 1450 nm，随后在 1600 nm 处降低。这表明存在 1450nm 吸收的情况下能大大提高图像对比度。

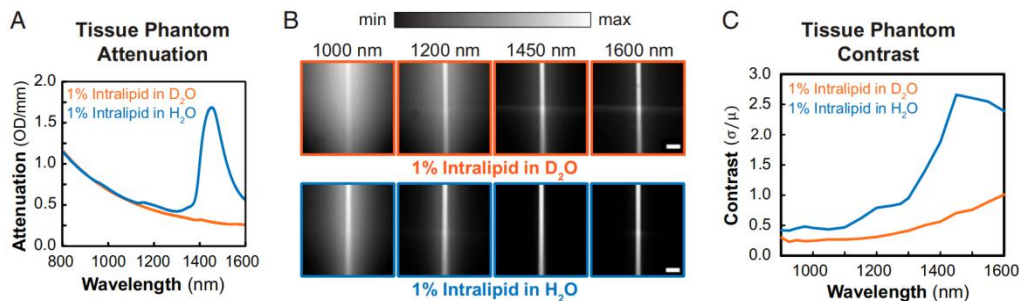


图 1A 组织体模材料的光谱 1B 组织体模材料的成像 1C 图像对比度与波长关系图

随后，作者进行了活体成像研究了对比度与波长的关系。作者将小鼠的脑血管进行标记后，

使用 50nm 带通滤波片对小鼠的皮肤和头骨进行成像，并对每个图像的对比度进行评估（图 2A）。我们发现对比度随着波长的增加到达 1450nm 峰值，然后在 1450 nm 处下降（图 2B），再次证明了对比度与波长有关。

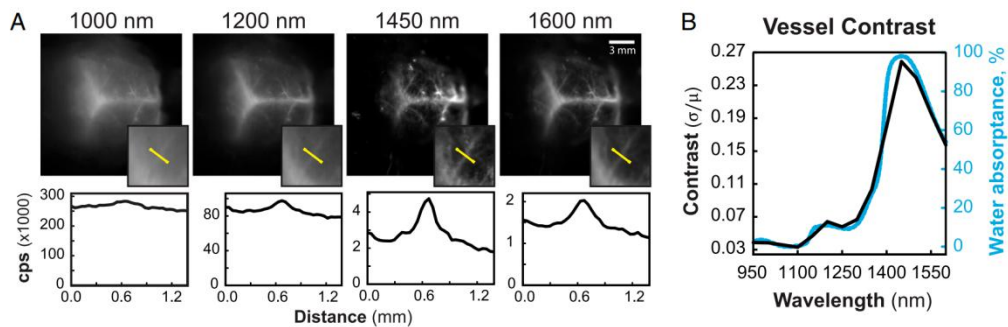


图 2A 小鼠体内成像 2B 图像对比度与波长关系图

接着，作者对离体体内组织中对比度与穿透深度进行了研究。作者将小鼠肝脏的 Kupffer 细胞进行标记，用 50nm 带通滤波片对提取组织进行成像，成像深度为 40、70、100um(图 3A)。通过对对比度与组织穿透深度的计算，我们发现结果与体内成像数据一致，肝脏显微镜图像在 1450nm 波长处有最大的对比度。此外，我们观察到，穿透深度也随着波长的增加而增大(图 3B、3C)。在浅层(如 40 μm)，标记的肝脏在所有 SWIR 波长下都能形成图像，但在更深层(如 100 μm)成像时，除了 1450 nm 处附近的波长外，大多数 SWIR 波长的图像对比度都会显著降低。

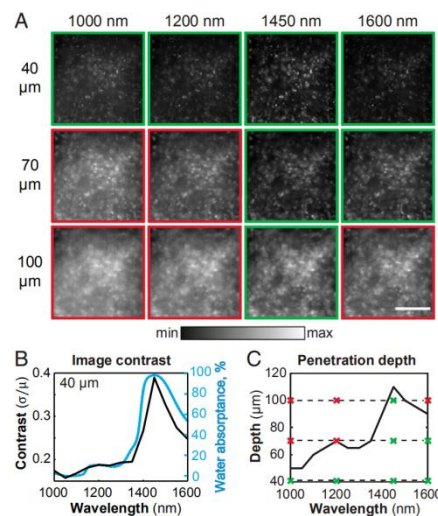


图 3A 小鼠肝脏成像 3B 图像对比度与波长关系图 3C 穿透深度与波长关系图

结论：成像对比度和穿透深度可以通过选择 SWIR 波长进行调节。在 SWIR 中，在水的吸收峰值(接近 1450 nm)处成像可以获得最高的图像对比度。通过从吸收波长处改善对比度使更深层结构的分辨率提高，从而获得更大的成像穿透深度。因此，对比、穿透深度和荧光信号强度之间的平衡可以通过在组织吸收特定水平的波长上选择性成像来实现。这对于确定红外成像光谱中的最佳窗口至关重要。