



اعضا و اندام‌های مصنوعی

دکتر علی مالکی - عضو هیات علمی دانشگاه سمنان

فهرست مطالب

- ← آناتومی قلب و آسیب‌شناسی آن
- فناوری‌های کمکی قلب
- ارزیابی پمپ‌های خون



مبحث دوم

قلب مصنوعی و تجهیزات کمک قلبی

آناتومی قلب و آسیب‌شناسی آن

• حفره‌ها:

- دو حفره‌ی پمپ‌کننده (بطن‌ها)
- دو حفره‌ی پر شونده (دهلیزها)

• چرخه‌های گردش خون:

- چرخه‌ی سیستمی
- چرخه‌ی ریوی



FIGURE 12: The human heart with four chambers: two atria and two ventricles.

• آمارهای مرکز ملی پیشگیری از بیماری‌های مزمن (NCCDP) :

- سالانه ۹۵۰۰۰۰ نفر در آمریکا بر اثر بیماری‌های قلبی عروقی فوت می‌شوند.
- تعداد ۶۱ میلیون نفر به بیماری قلب و عروق دچار می‌باشند.
- سالانه ۶ میلیون نفر در بیمارستان بستری می‌شوند.

• روش‌های درمانی گرفتگی عروق کرونر یا آنورت :

- جراحی جهت باز کردن مکانیکی یا سایش لیزری
- باز کردن رگ توسط کاتتر بالون
- قرار دادن استنت (stent) در عروق کرونر پس از رفع گرفتگی
- جراحی بای‌پس (bypass) گرفتگی با پیوند رگ یا عروق مصنوعی

• عوامل اصلی ناراحتی‌های قلبی :
• گرفتگی عروق کرونر یا آنورت

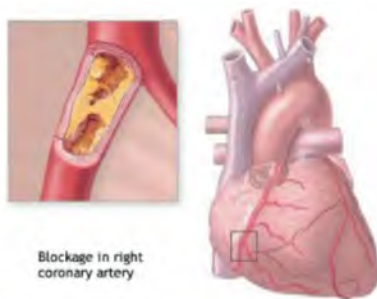


FIGURE 13: Coronary artery blockage with inset showing blockage and larger view showing location within the heart musculature.

• پس از عمل جراحی :

- اغلب قلب برای ملزومات چرخه سیستمی ضعیف است و لازم است بار آن کاهش یابد تا خود را بازیابی کند.
- گاهی قلب دیگر قادر به عملکرد در سطح طبیعی (۵ لیتر بر دقیقه با ۹۵٪ اشباع اکسیژن و متوسط فشار ۱۰۰ میلی‌متر جیوه) نیست.
- حتی گاهی قلب قادر به بازیابی حداقل عملکرد هم نیست.

• در این شرایط چه باید کرد؟

- پیوند قلب (۲۰۰۰-۳۰۰۰ اهدا کننده در مقابل دهها برابر متقاضی پیوند قلب در آمریکا و ملزومات گروه خونی و نوع بافت).
- دستگاه کمک بطنی (Ventricular Assist Device) یا VAD
- قلب مصنوعی

• انواع VAD :

- دستگاه کمک بطنی چپ (LVAD)
- دستگاه کمک بطنی راست (RVAD)
- دستگاه کمک بطنی دو طرفه (BiVAD)



FIGURE 14: The Jarvik-7 pneumatically driven artificial heart showing two ventricles and the air lines which lead to the spacing between the outer casing and the inner flexible blood sac.

فهرست مطالب

- آناتومی قلب و آسیب شناسی آن
- فناوری های کمکی قلب
- ارزیابی پمپ های خون



FIGURE 15: Biventricular electrically operated pusher plate design for a blood pump with four valves similar to that of the natural heart.

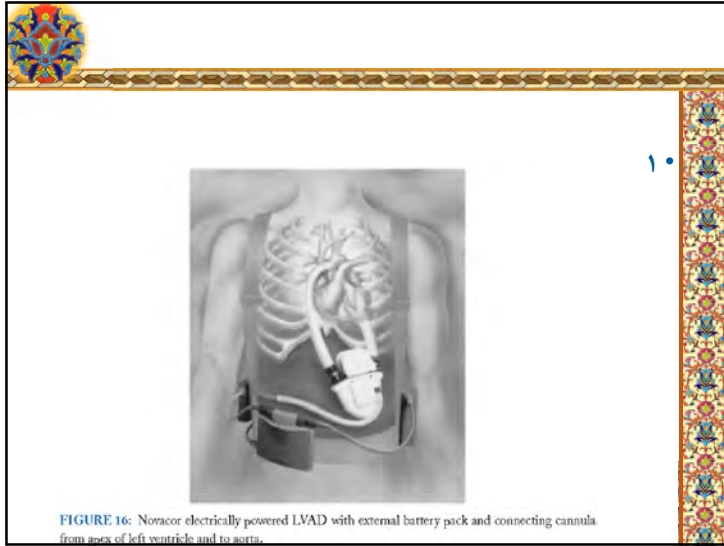
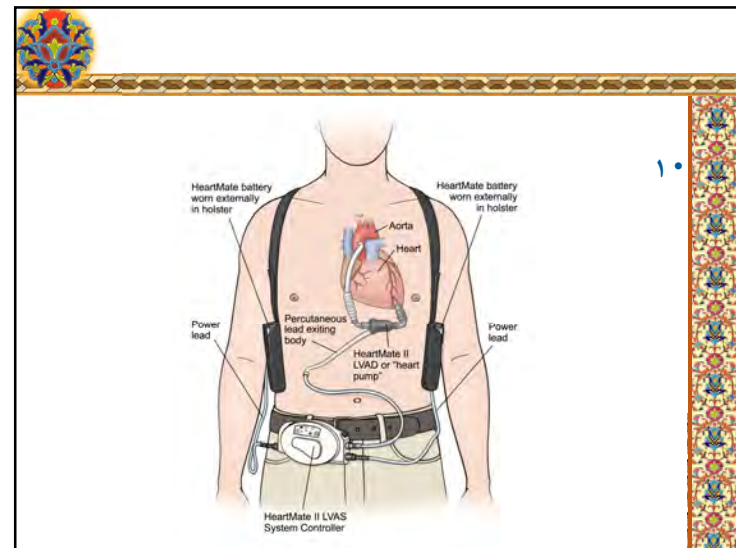
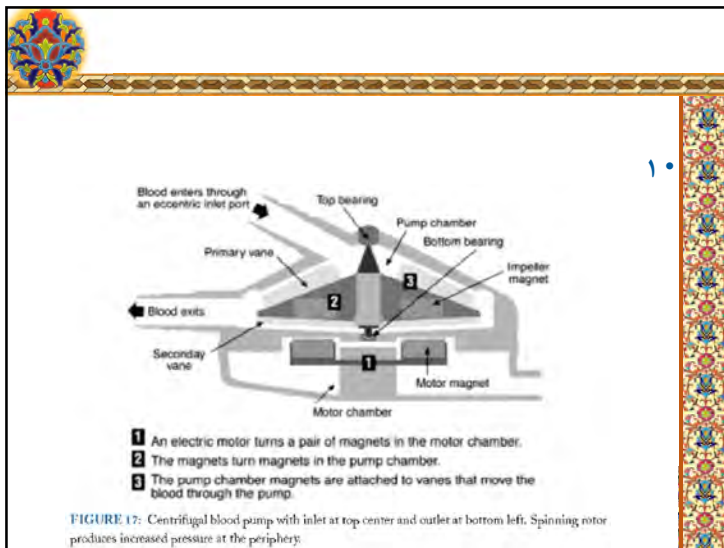
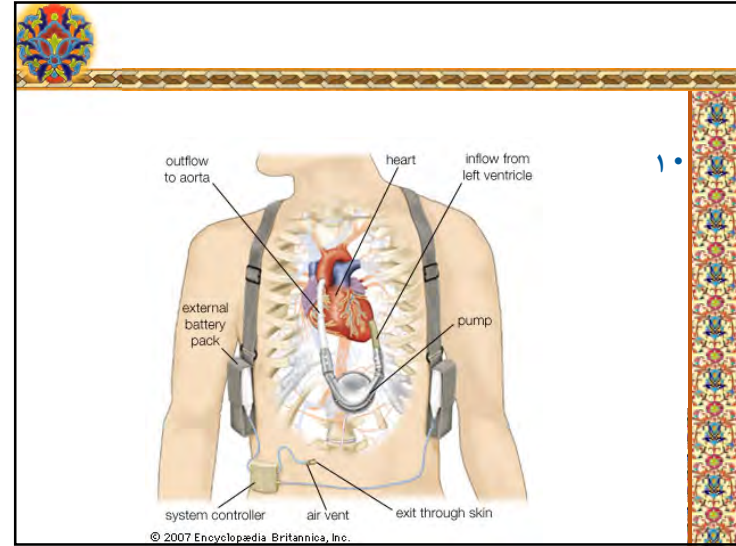


FIGURE 16: Novacor electrically powered LVAD with external battery pack and connecting cannula from apex of left ventricle and to aorta.



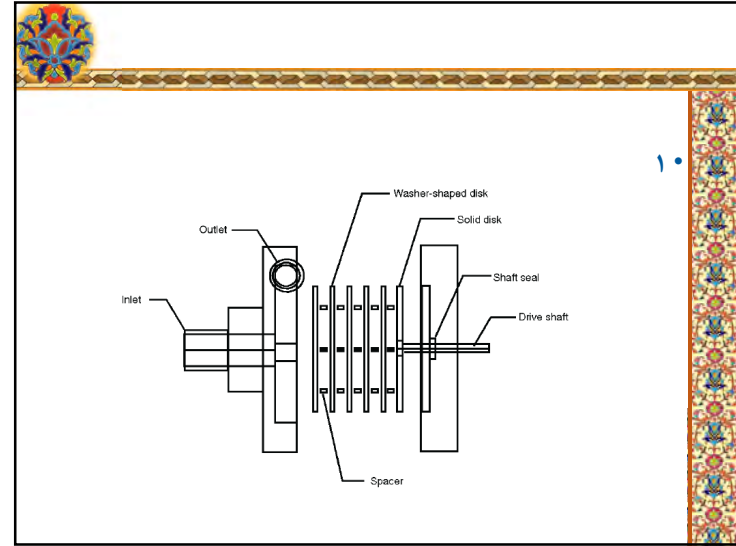
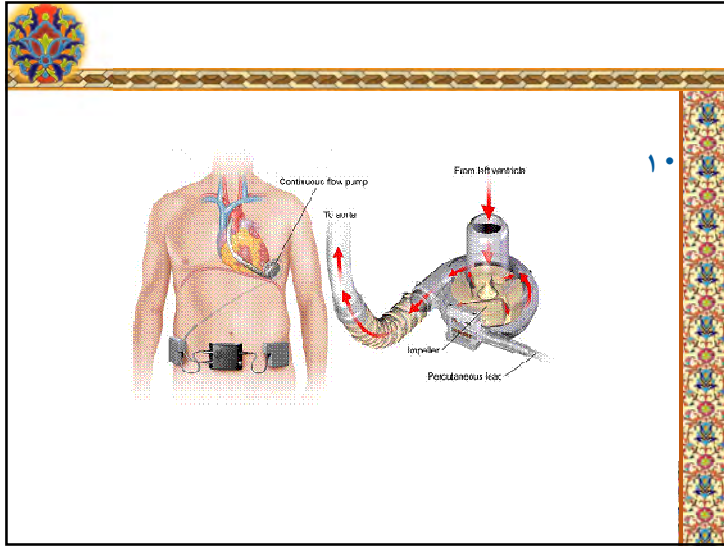


FIGURE 18: Medtronic BP-80 centrifugal blood pump with nested cones and magnetic drive.

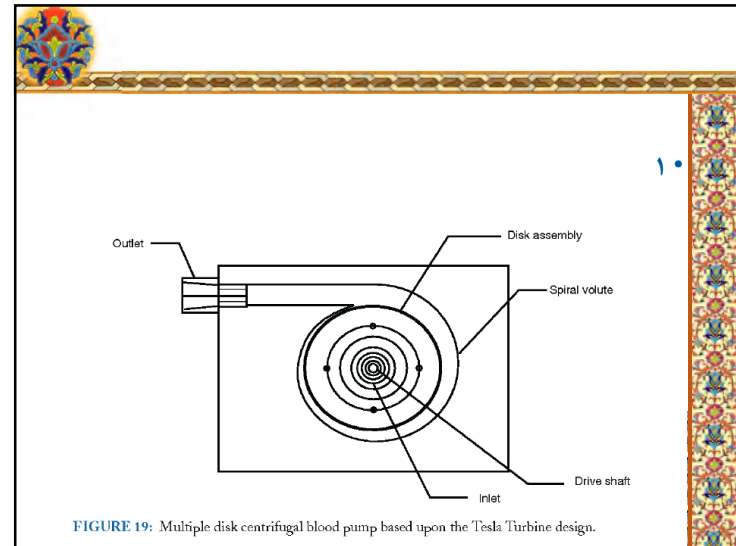
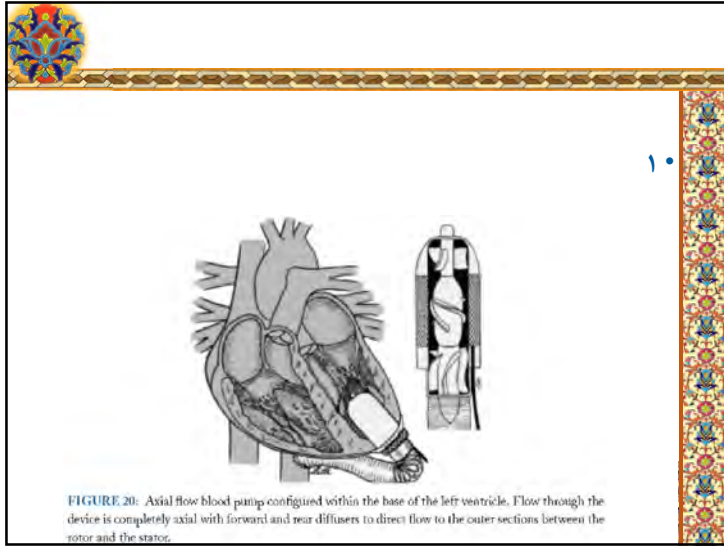


FIGURE 19: Multiple disk centrifugal blood pump based upon the Tesla Turbine design.



فیلم: دستگاه کمک بطنی چپ

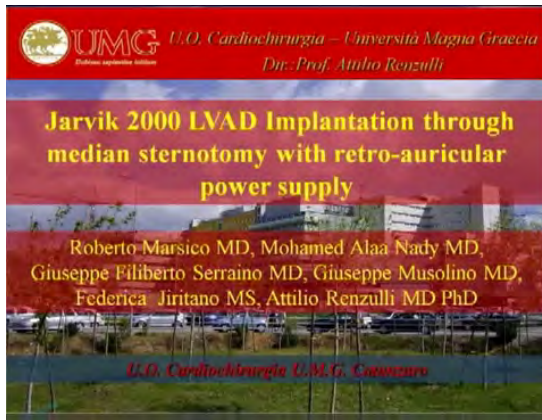


۱۰

فهرست مطالب

- آناتومی قلب و آسیب‌شناسی آن
- فناوری‌های کمکی قلب
- ارزیابی پمپ‌های خون ←

فیلم: جراحی کاشت Jarvic 2000 LVAD



۱۰

شیوه‌های مختلف ارزیابی پمپ خون

- ارزیابی به شیوهی آزمایشگاهی (**in vitro**)
- ارزیابی به کمک مدل‌های حیوانی (**in vivo**)
- ارزیابی با مطالعات بالینی (**in situ**)
- استفاده از مدل‌های محاسباتی (تکنیک‌های المان محدود - **finite element**)

ارزیابی پمپ خون به شیوه آزمایشگاهی

بدین منظور از سیستم گردش خون ساختگی (mock circulatory system) که سیستم گردش خون انسان را از دیدگاه بار فیزیکی تقلید می کند استفاده می گردد.

این سیستم شامل اجزای زیر است:

- عنصر منعطف یا **compliance** (جهت شبیه سازی انعطاف آئورت).
- مقاومت (جهت شبیه سازی مقاومت محیطی) و
- منبع ورودی یا عنصر منعطف (جهت شبیه سازی فشار ورودی ورید یا انعطاف ورید)
- مخلوط آب-گلیسرین (جهت شبیه سازی خون)

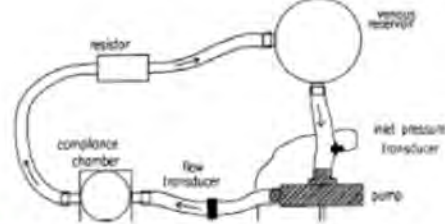


FIGURE 21: Mock circulatory system for *in vitro* testing of blood pumps.

سرعت سنجی تصویر ذره (PIV)

سرعت سنجی تصویر ذره (PIV) مستلزم اجزای زیر است:

- ذرات خنثی آب سوار (**neutrally buoyant particles**) فلورسنت
- سیستم لیزر دوگانه (dual laser system) جهت نورافشانی به ذرات
- دوربین CCD جهت تصویربرداری در دو زمان نزدیک (۳۰ میلی ثانیه)
- کامپیوتر جهت انجام محاسبات

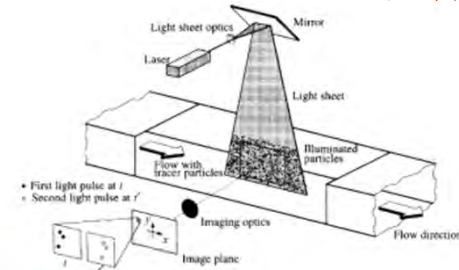


FIGURE 22: Typical PIV system with laser-illuminated particles within the flow field.

تصویر نگاشت برداری PIV

تصویر نگاشت برداری PIV (**PIV vector mapping**):

- تصویری از دینامیک جریان سیال،
- در هر ثانیه ۳۰ یا بیشتر از این نوع تصویر تولید می گردد.

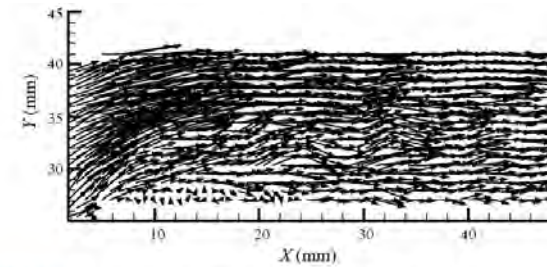


FIGURE 23: PIV vector mapping (snapshot) of particles within a flow field at one instance in time (over a 30-ros interval).

تکنیک های مطالعه ای آزمایشگاهی مکانیک سیالات در لوله های ورودی خروجی:

- بادسنجی داپلر لیزر (**laser Doppler anemometry - LDA**)
- سرعت سنجی تصویر ذره (**particle image velocimetry - PIV**)
- حسگر جریان فراصوت داپلر (**doppler ultrasound flow sensor**)
- حسگر جریان الکترومغناطیسی (**electromagnetic flow sensor**)
- میدل فشار گنبدی شکل (**dome-type pressure transducer**)
- میدل حالت جامد (**solid-state transducer**)

برای دو روش نخست که اصطلاحاً **flow visualization techniques** نامیده می شوند لازم است که سیال شفاف بوده و در لوله ای شفاف جریان یابد.

پروفایل جریان متوسط

با میانگین‌گیری از حدود ۱۰۰ تصویر نگاشت برداری PIV، یک پروفایل جریان متوسط (average flow profile) حاصل می‌گردد.

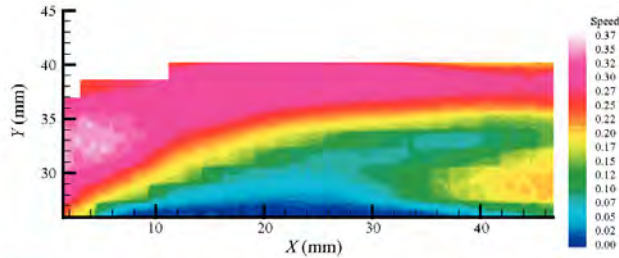


FIGURE 24: Time averaged (contour) plots from sequential vector plots of a PIV-measured flow field. Blue zone indicates low velocity (near lower wall) and red zone indicates higher velocity at outer (top) wall. Slight reversal of flow in yellow is seen at the far right.

مدل‌های محاسباتی

مدل‌سازی محاسباتی به ایجاد شبکه‌های دیجیتال می‌پردازد که محدوده‌های فیزیکی میدان جریان را نشان می‌دهد تا امکان تحلیل رابطه فشار-جریان فراهم گردد.

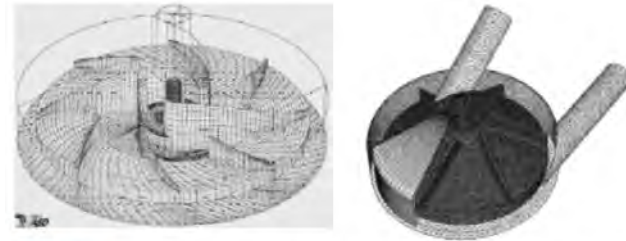


FIGURE 25: Grids generated by computational fluid mechanics algorithms to represent flow boundaries and computational accuracy steps.

- حسگر جریان (فراصوت داپلر یا الکترومغناطیسی) فشار درون میدان جریان را در محل‌های مختلف از جمله ورودی پمپ، خروجی پمپ، حفره‌ی منقطع و حفره‌ی پمپ اندازه می‌گیرد.

- مبدل فشار گنبدی شکل نسبت به مبدل حالت جامد ارزان‌تر بوده ولی پاسخ فرکانسی آن محدود به ۱۰۰ هرتز است. مبدل حالت جامد گران‌تر، دقیق‌تر و در عین حال، آسیب‌پذیر است.

CFD

کاربردهای دینامیک سیال محاسباتی (Computational fluid dynamics):

- اعتبارسنجی داده‌های آزمایشگاهی
- جایگزینی برای آزمایش‌های پرهزینه‌ی in-vitro (به ویژه وقتی قرار است بیکربندی‌های گوناگون ارزیابی گردد).

الگوریتم‌های CFD قادر است اطلاعات فشار یا سرعت جریان را ایجاد نماید:

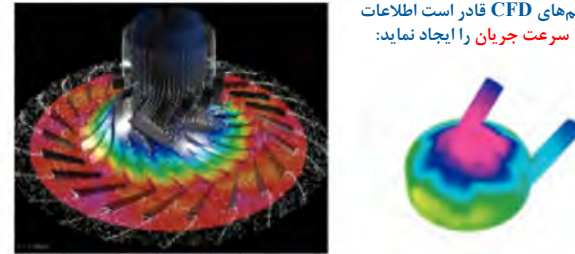


FIGURE 26: CFD generated flow fields within designated grid system. Left figure indicates flow field data within the device while right figure indicates stress data on walls of the device.

رابطه‌ی فشار- جریان

پمپ‌های خونی از نظر رابطه‌ی فشار - جریان نیز ارزیابی می‌شوند که برای تعیین آسیب به گویچه‌های قرمز خون (hemolysis) اهمیت دارد.

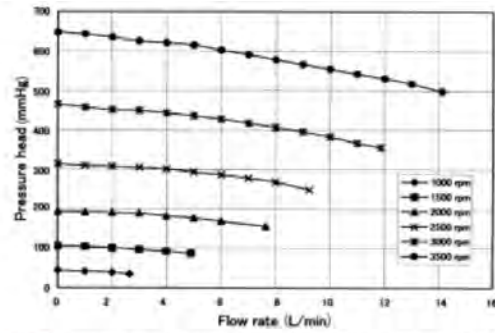


FIGURE 27: Performance curves for a centrifugal blood pump indicating pressure-flow relationships for varying pump rpm. Flow is reduced at increasing pressures (afterloads).

نمودار hemolysis

برای دستیابی به داده‌ی hemolysis، پمپ به یک سیستم گردش خون ساختگی اصلاح شده متصل شده است که خون کامل در چرخه‌ی آن جریان دارد.

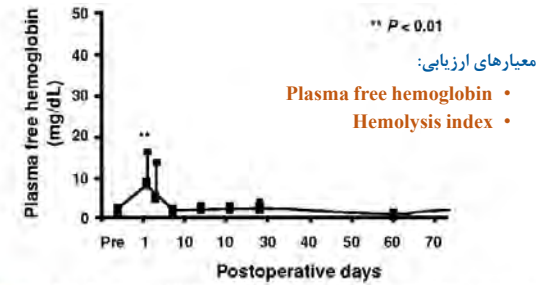
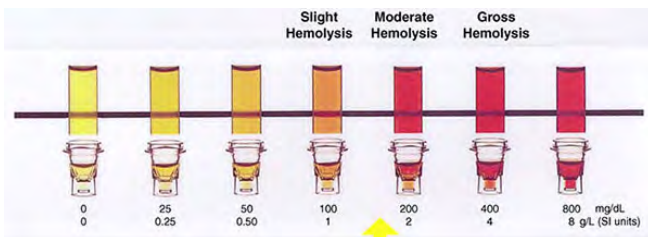


FIGURE 28: Hemolysis data for an LVAD showing levels of plasma free hemoglobin postoperative (postimplantation of pump). After an initial spike, the hemolysis data is quite low, which is typical of many LVAD designs.

بیشتر بدانیم!

hemolysis (همولیز) یعنی تخریب یا شکسته شدن غشای گلبول‌های قرمز و آزاد شدن هموگلوبین به پلاسمای خون.



فهرست مطالب

- آناتومی قلب و آسیب‌شناسی آن
- فناوری‌های کمکی قلب
- ارزیابی پمپ‌های خون