

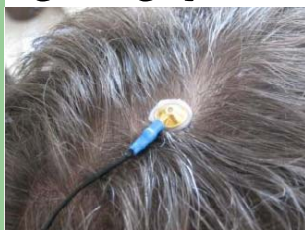


## الکترودها و مبدل ها

### فصل سوم

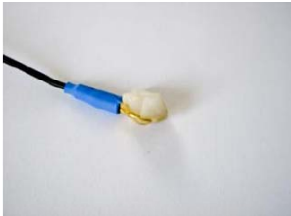
## الکتروود

- به منظور اندازه گیری و ثبت پتانسیل های بدن، نیاز به واسطه ای مابین بدن و سیستم ثبت سیگنال داریم.
- الکترودهای پتانسیل حیاتی باید توانایی هدایت یک جریان مابین بدن و سیستم ثبت سیگنال را داشته باشد.
- جریان داخل بدن ← توسط یونها
- جریان در سیم ← توسط الکترون ها
- الکتروود مبدلی است که جریان یونها در داخل بدن را به جریان الکتریکی در سیم ها تبدیل می کند.



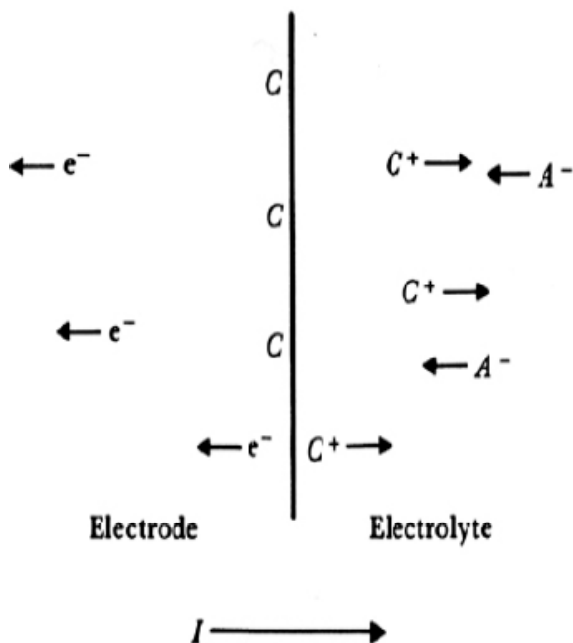
## الکترولیت

- برای تبدیل جریان یونها در بدن به جریان الکتریکی در الکتروود نیاز به واسطه ای به نام الکترولیت داریم.
- الکترولیت به شکل خمیر یا محلول نمکی است.



## واسطه الکتروود – الکترولیت

- هنگام تماس الکتروود و الکترولیت برای ایجاد جریان دو فرآیند اتفاق می افتد:



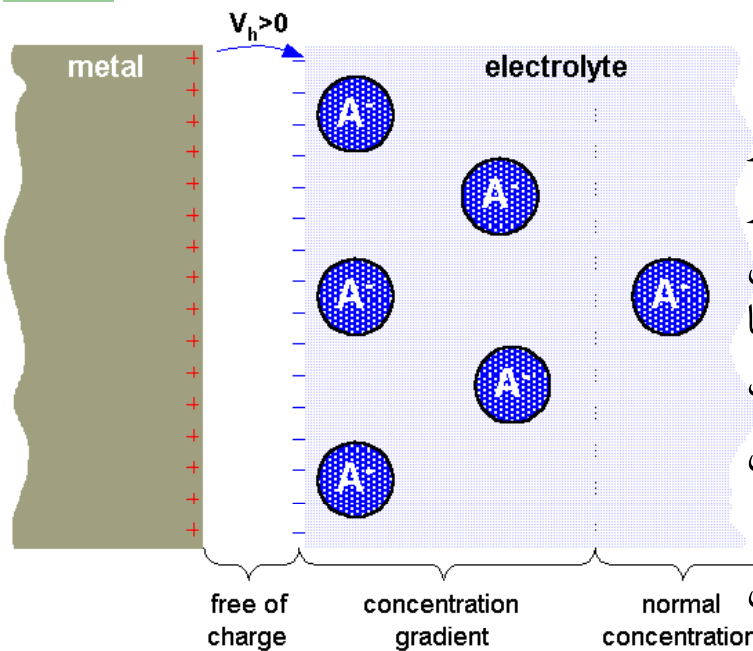
۱- طبق رابطه اکسیداسیون  $C \leftrightarrow C^+ + e^-$

یونهای الکتروود ( $C^+$ ) در الکترولیت غوطه‌ور شده و الکترون ( $e^-$ ) در فلز باقی می‌ماند.

۲- طبق رابطه احیاء  $C^+ + A^- \leftrightarrow CA$

یونهای منفی ( $A^-$ ) به اتم خنثی تبدیل می‌شوند.

## پتانسیل نیم پیل



• وقتی یک الکتروود فلزی در الکترولیتی غوطه‌ور شود، بعضی از الکترونها آن وارد محلول می‌شوند و جدا شدن این الکترونها از فلز باعث تجمع بارهای مثبت در سطح الکتروود و یونهای منفی در الکترولیت می‌شود.

• این تجمع بارهای الکتریکی اختلاف پتانسیلی را بنام پتانسیل نیم پیل بوجود می‌آورد.

5

پتانسیل نیم پیل بعضی از فلزات همراه با معادلات اکسیداسیون و امیاء

فلز و واکنش شیمیایی	پتانسیل نیم پیل $E$
$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$	-۱/۷۰۶
$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$	-۰/۷۶۳
$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^-$	-۰/۱۲۶
$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	.
$Ag + Cl^- \rightarrow AgCl + e^-$	۰/۲۲۳
$2Hg + 2Cl^- \rightarrow Hg_2Cl_2 + 2e^-$	۰/۲۶۸
$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	۰/۳۴۰
$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^-$	۱/۴۲۰
$Au \rightarrow Au^+ + e^-$	۱/۶۸۰

6

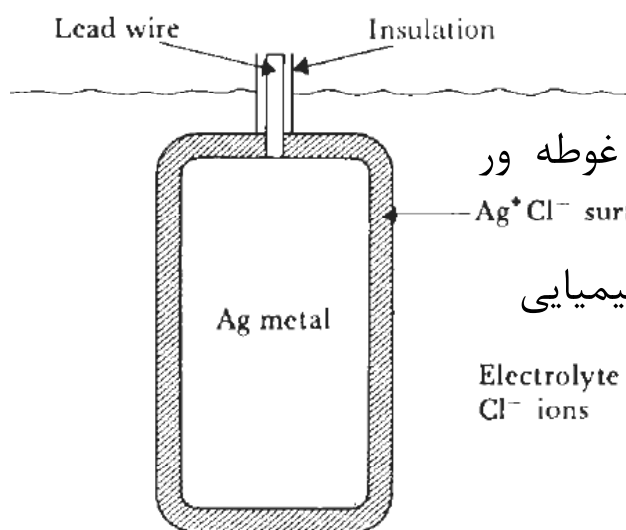
## پتانسیل نیم پیل (ادامه ...)

- برای اندازه گیری پتانسیل نیم پیل از الکتروود مرجع هیدروژن استفاده می شود.
- در ثبت سیگنال های حیاتی معمولاً از دو الکتروود مشابه که از یک فلز یکسان ساخته شده اند، استفاده می شود. بنابراین سیگنال ثبت شده ناشی از تفاضل آن دو صفر است.
- در عمل، به دلیل دقیقاً یکسان نبودن دو الکتروود یا تفاوت مقاومت پوست در محل دو الکتروود، باعث تولید پتانسیل آفست در سیگنال دریافتی می شود.

## الکتروودهای قابل پلاریزه و غیر قابل پلاریزه

- **الکتروودهای قابل پلاریزه:** الکتروودهایی هستند که در هنگام برقراری جریان عملاً هیچ باری از حد فاصل بین الکتروود و الکتروولیت عبور نمی کند و جریانهای عبوری از حد فاصل جریان های جابجایی (مشابه خازن) می باشند.
- الکتروودهایی از جنس طلا، نقره و پلاتین از نوع قابل پلاریزه اند.
- **الکتروودهای غیر قابل پلاریزه:** جریان در اثر فرآیندهای اکسیداسیون و احیاء بین الکتروود و الکتروولیت به طور آزادانه عبور می کند.

## الکتروود نقره-کلرید نقره (Ag/AgCl)

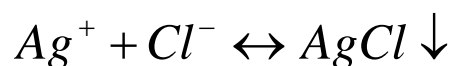


- از نوع غیرقابل پلاریزه است.

- این الکتروود در الکترولیت آب نمکی غوطه ور است.

- رفتار این الکتروود بر اساس دو واکنش شیمیایی زیر است:

Electrolyte containing  $Cl^-$  ions



- از ویژگی های بارز این الکتروود کم نویز بودن و کم بودن اثر آرتیفکتهای حرکتی بر روی آن است.

## دسته بندی الکتروودها از نظر شکل و نوع کاربرد

الف- الکتروودهای سطحی یا پوستی

- برداشت سیگنال از روی سطح پوست

ب- الکتروودهای ماتریسی

- اندازه گیری توزیع های پتانسیل الکتریکی در اطراف ناحیه ای از یک اندام

ج- الکتروودهای داخلی

- برداشت ولتاژهای زیر سطح پوست و نزدیک به منابع بیوالکتریکی

د- میکروالکتروودها

- اندازه گیری سیگنالهای داخل یا مجاور سلولی

## الف – الکترودهای سطحی

انواع الکترودهای سطحی:

۱- الکترود صفحه فلزی

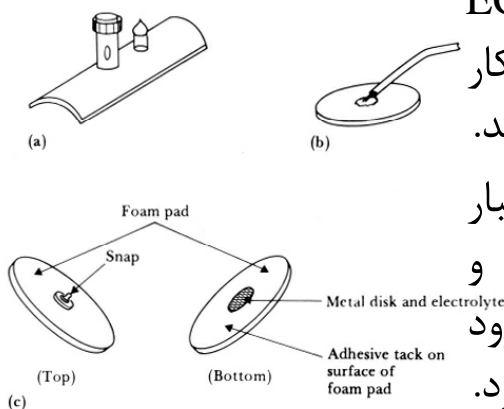
۲- الکترود مکشی

۳- الکترود شناور

۴- الکترود قابل انعطاف

۵- الکترود خشک

## ۱- الکترود صفحه فلزی



**Figure 5.14 Body-surface biopotential electrodes** (a) Metal-plate electrode used for application to limbs. (b) Metal-disk electrode applied with surgical tape. (c) Disposable foam-pad electrodes, often used with electrocardiographic monitoring apparatus.

- بر اساس شکل ساخت برای ثبت ECG از روی سینه، EEG و EMG به کار می‌روند و از نوع نقره-کلرید نقره هستند.

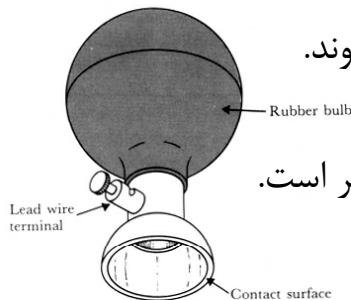
- در کلینیک‌ها از الکترودهای یکبار مصرف که در داخل خود ژل دارند و روی آنها چسب‌هایی برای نصب الکترود بر روی بدن وجود دارد، استفاده می‌شود.



## ۲- الکتروود مکشی



- نیاز به نوار یا چسب برای نصب روی بدن ندارد.
- به صورت گسترده در کلینیک برای ثبت ECG به عنوان لیدهای سینه ای به همراه ژل به کار می رود.
- قسمت فلزی به صورت استوانه ای است که قاعده آن با پوست در تماس بوده و سیگنالهای پوستی را دریافت می کند.
- این الکتروودها در ثبت کوتاه مدت استفاده می شوند.
- چون سطح تماس الکتروود با پوست کم است، امپدانس آن نسبت به الکتروودهای صفحه فلزی بیشتر است.

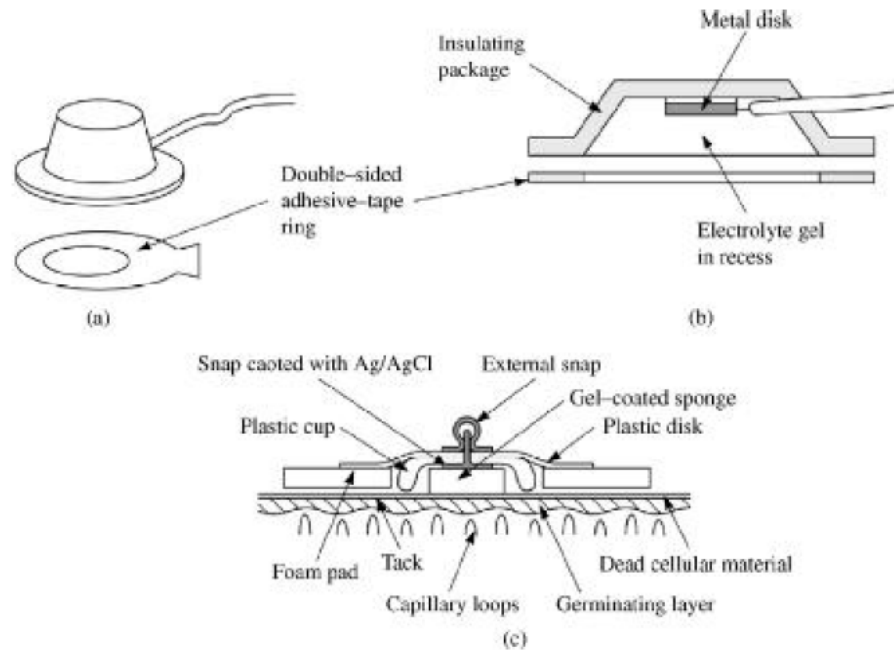


**Figure 5.15** A metallic suction electrode is often used as a precordial electrode on clinical electrocardiographs.

## ۳- الکتروود شناور

- برای حذف کامل آرتیفکتهای حرکتی نیاز به پایدار کردن شرایط مکانیکی الکتروود است.
- ویژگی این الکتروود در این است که فلز الکتروود در حفره ای قرار داشته و هیچ تماس مکانیکی مستقیمی با پوست ندارد.
- حفره الکتروود با خمیر KCl کاملاً پر می شود و این محلول نسبت به الکتروود حرکت مکانیکی ندارد.
- جنس فلز این الکتروودها از نوع نقره-کلرید نقره است.

### ۳- الکتروود شناور (ادامه ...)



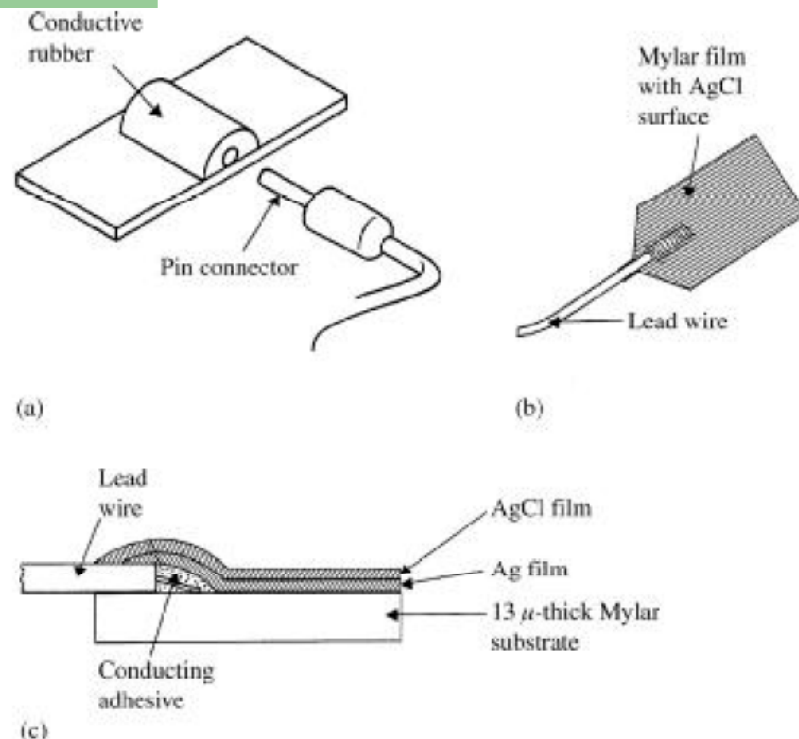
15

### ۴- الکتروود قابل انعطاف

- چون سطح بدن شکل‌های غیر منظمی دارد، الکترودهای با بدنه سخت نمی‌توانند سازگاری مناسبی را با تغییرات هندسی سطح بدن نشان دهند. در نتیجه اغتشاشات حرکتی بیشتری را ایجاد می‌کند.
- الکترودهای قابل انعطاف برای اجتناب از این موارد بکار می‌روند.

16





**Figure 5.12 Flexible body-surface electrodes** (a) Carbon-filled silicone rubber electrode. (b) Flexible thin-film neonatal electrode [after Neuman (1973)]. (c) Cross-sectional view of the thin-film electrode in (b). [Parts (b) and (c) are from International Federation for Medical and Biological Engineering. *Digest of the 10th ICMBE*, 1973.]

## ۵-الکترودهای خشک

- الکترودهای خشک بدون استفاده از الکترولیت بکار می روند.
- تمامی الکترودهای بحث شده در قبل، نیاز به خمیر الکترودها دارند تا اتصال مناسب و قابل اطمینان را بین پوست و الکترودها فراهم آورند.
- در الکترودهای قبلی در کاربردهای درازمدت الکترولیت خشک شده و خواص خود را از دست می دهد.
- نقش الکترولیت را عرق روی سطح پوست ایفا می کند.

## ب- الکترودهای ماتریسی

### ۱- الکترودهای تک بعدی

- برای استفاده در اندازه گیری توزیع های پتانسیل در ضربان عضله قلب

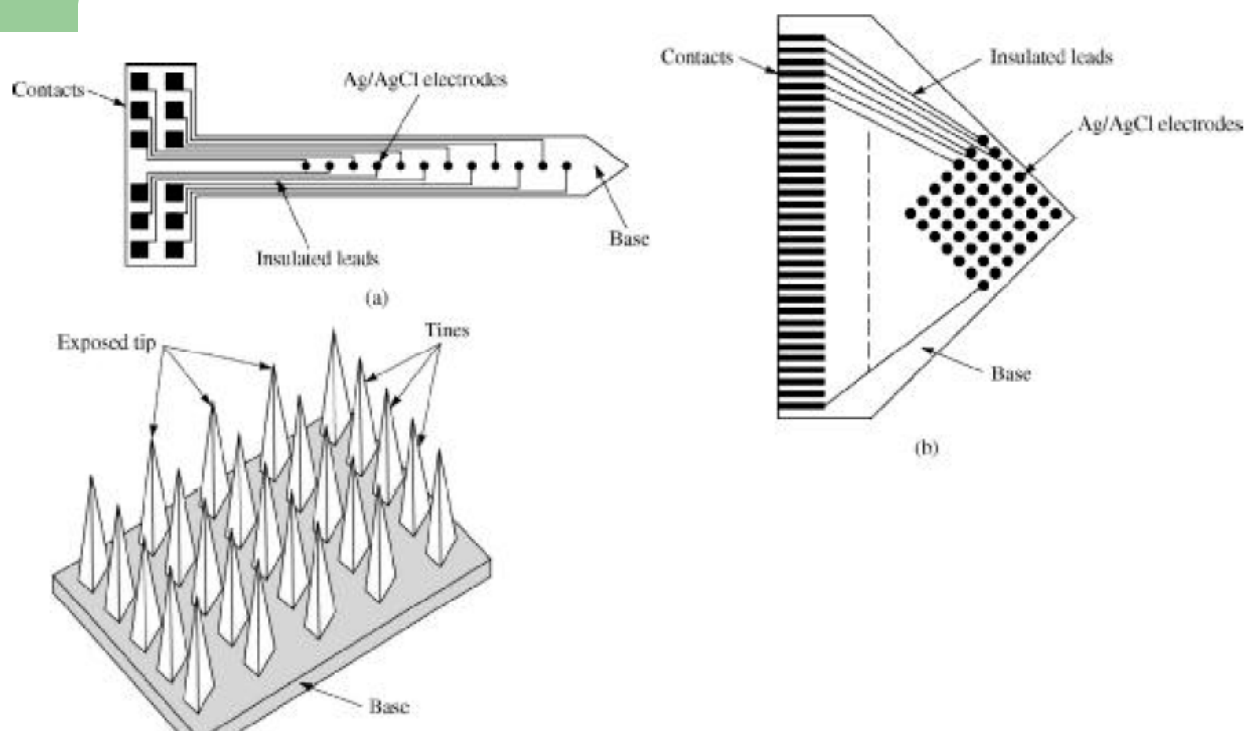
### ۲- الکترودهای دو بعدی

- برای نقشه برداری پتانسیل های الکتریکی در اطراف ناحیه ای از یک اندام مثل قلب

### ۳- الکترودهای سه بعدی

- ظاهر آن به صورت یک شانه دو بعدی است که هر دندان دارای طول ۱.۵ میلیمتر است و با ماده عایق تا نوک احاطه شده است و نوک باز به عنوان الکتروود عمل می کند.
- گرچه دارای ساختار سه بعدی است، اما از یک آرایه دوبعدی برای اندازه گیری استفاده می کند.

## مثال هایی از الکترودهای ماتریسی



**Figure 5.16** Examples of microfabricated electrode arrays (a) one-dimensional plunge electrode array [after Mastrototaro *et al.* (1992)], (b) two-dimensional array, and (c) three-dimensional array [after Campbell *et al.* (1991)].

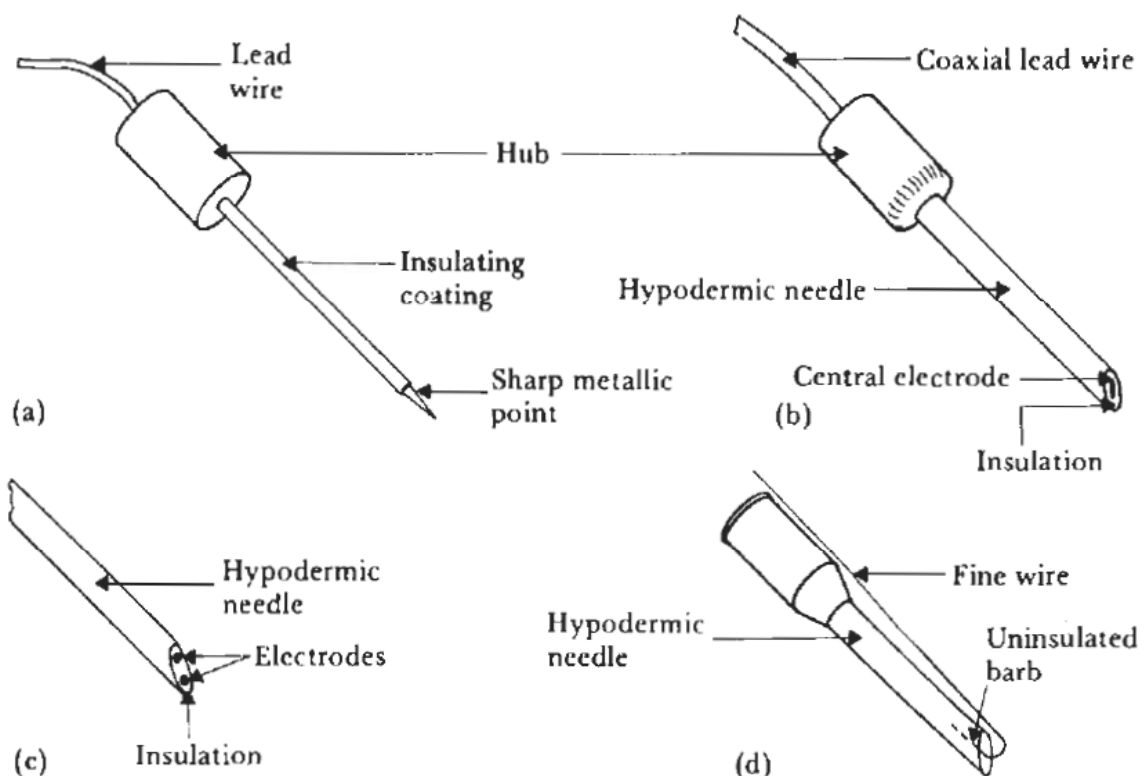
## ج-الکترودهای داخلی

- این الکترودها داخل بدن یا زیر پوست نصب می شوند.
- چون این الکترودها درون بافتهای بدن فرو می روند و مایعات خارج سلولی وجود دارند، نیازی به استفاده از ژل الکترولیتی نیست.

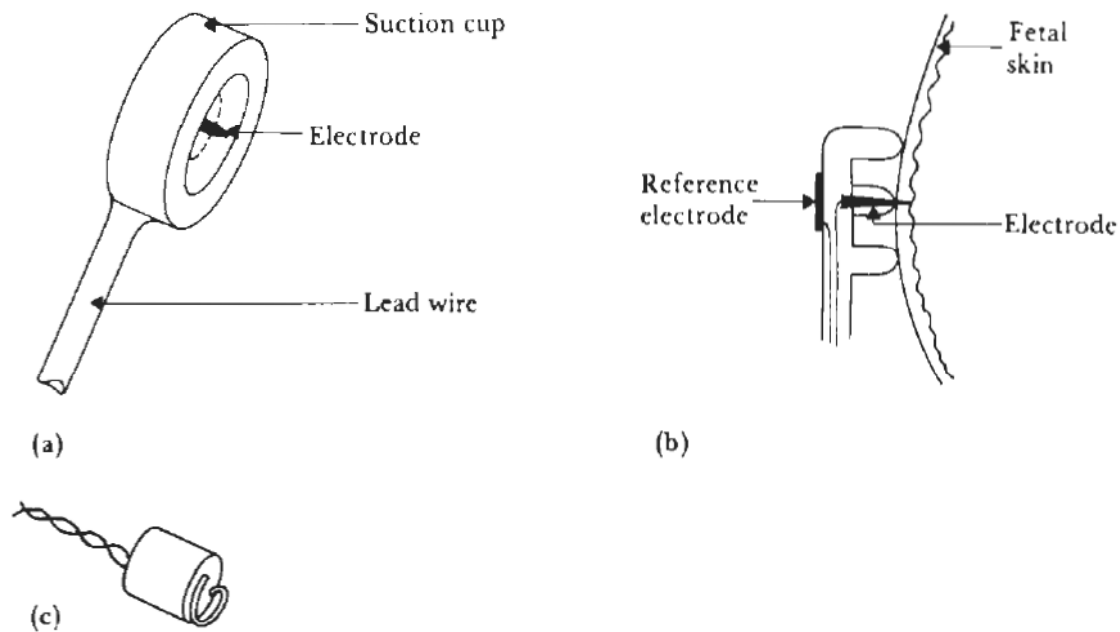
### • انواع الکترودهای داخلی

- ۱- الکترودهای سوزنی و سیمی برای ثبت ECG و EMG
- ۲- الکترودهای آشکارساز ECG جنین در طول بارداری
- ۳- الکترودهای قابل کاشت برای کاربرد رادیو تله متری

## ۱-الکترودهای سوزنی و سیمی برای ثبت زیرجلدی

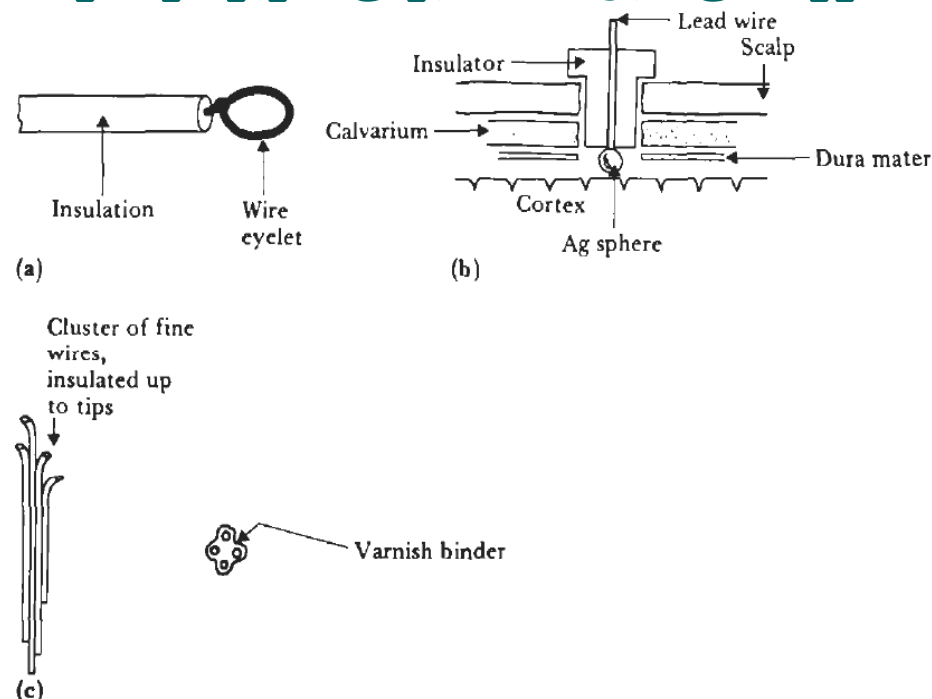


## ۲- الکترودهای آشکارساز ECG جنین در طول بارداری



**Figure 5.20** Electrodes for detecting fetal electrocardiogram during labor, by means of intracutaneous needles (a) Suction electrode. (b) Cross-sectional view of suction electrode in place, showing penetration of probe through epidermis. (c) Helical electrode, which is attached to fetal skin by corkscrew-type action.

## ۳- الکترودهای قابل کاشت برای کاربرد رادیو تله متری



**Figure 5.21** Implantable electrodes for detecting biopotentials (a) Wire-loop electrode. (b) Silver-sphere cortical-surface potential electrode. (c) Multielement depth electrode.

## د- میکروالکترودها

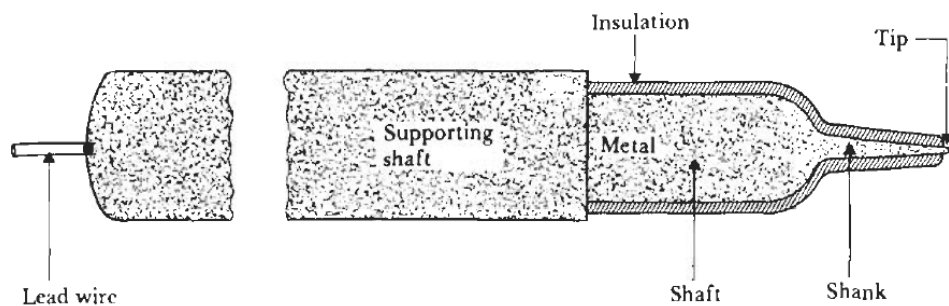
- برای اندازه گیری پتانسیل استراحت یا پتانسیل عمل استفاده می‌شود.
- این الکترودها باید نسبت به ابعاد سلول کوچک باشند تا از ایجاد صدمه جدی به سلول جلوگیری شود.
- همچنین بایستی از آلیاژهای محکم و قوی ساخته شود، به طوریکه بتواند غشاء سلول را سوراخ کند و از لحاظ مکانیکی پایدار باقی بماند.
- قطر آنها بین نیم تا ده میکرومتر است.

## انواع میکروالکترودها

- ۱- میکروالکترودهای فلزی
- ۲- میکروالکترودهای فلزی پوشش داده شده
- ۳- میکروالکترودهای میکروپیپت

## ۱- میکروالکتروود فلزی

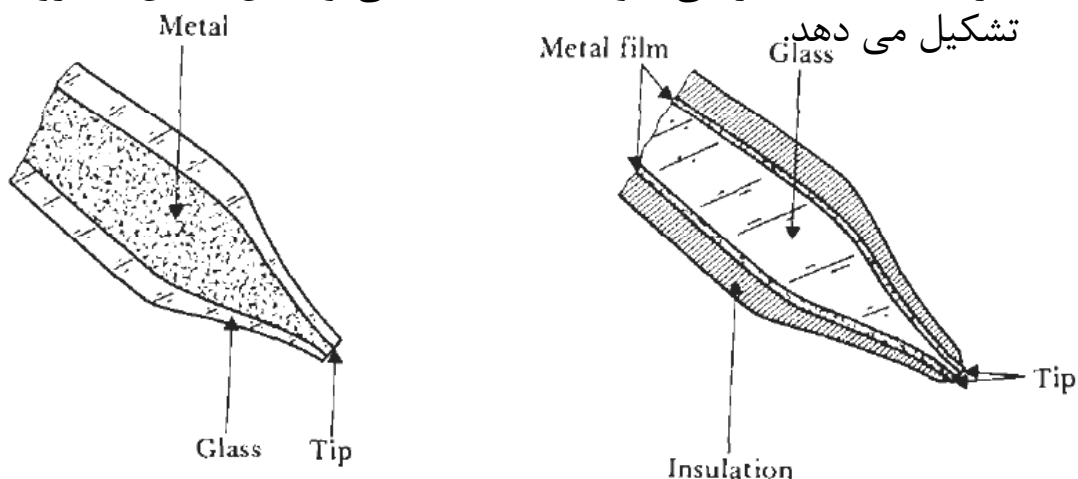
- این میکروالکتروود از سوزنی باریک از جنس فلز عایق بندی شده ساخته شده است.
- جنس فلز آنها از استیل ضد زنگ، لوله های پلاتینیوم-ریدیم و تنگستن هستند.



**Figure 5.22** The structure of a metal microelectrode for intracellular recordings.

## ۲- میکروالکتروود فلزی پوشش داده شده

- از خواص دو ماده مختلف در این نوع میکروالکتروود استفاده شده است.
- یک ماده عایق محکم که پوشش اصلی را تشکیل می دهد و یک فلز با ضریب هدایت الکتریکی خوب، قسمت داخلی و محل تماس الکتروود را تشکیل می دهد.

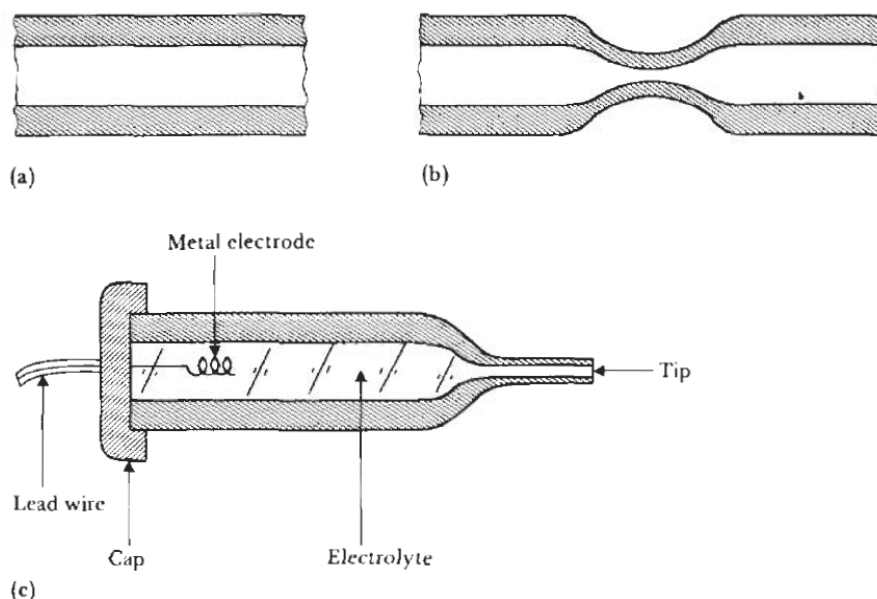


### ۳- میکروالکتروود میکروپیت

- این میکروالکتروودها از لوله های باریک شیشه ای ساخته می شوند.
- ناحیه مرکزی این لوله ها گرم می شود تا کاملاً نازک شود و سپس به طور سریع کشیده می شود.
- در نیمه لوله، شیشه شکسته شده و الکترودهایی با قطر یک میکرومتر در نوک ساخته می شود.
- داخل لوله با محلول الکتrolیتی KCl پر شده و الکتروود فلزی در انتهای ظرف درون KCl همراه با سیم رابط نصب می شود.
- الکتروود فلزی معمولاً از جنس نقره-کلرید نقره، پلاتینیوم و گاهی استیل است.

29

### یک میکروالکتروود میکروپیت که با محلول الکتrolیتی پر شده است



**Figure 5.24** A glass micropipet electrode filled with an electrolytic solution (a) Section of fine-bore glass capillary. (b) Capillary narrowed through heating and stretching. (c) Final structure of glass-pipet microelectrode.

30

## انواع الکترودهای ثبت پتانسیل حیاتی

الف- الکترودهای ECG

ب- الکترودهای EMG

ج- الکترودهای EEG

## الف- الکترودهای ثبت ECG

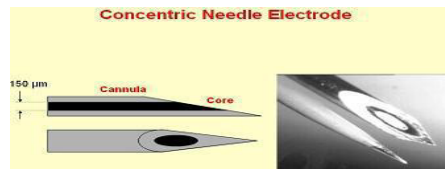
- الکترودهای ثبت ECG عمدتاً به صورت الکترودهای سطحی است، که به یکی از صورتهای صفحه فلزی، مکشی، شناور، قابل انعطاف یا الکترو خشک استفاده می‌شود.
- در مواردی که بیمار تحت عمل جراحی قرار دارد، ممکن است از الکترودهای سوزنی برای ثبت ECG استفاده شود.
- دلیل استفاده از آن، عدم نیاز به ژل الکترولیت، تثبیت بیشتر آن روی بدن و راحت تر بودن جراح است.



## ب- الکترودهای ثبت EMG

### ۱- الکتروود سوزنی (ریز الکتروود)

- جنس الکتروود معمولاً از پلاتین یا استیل ضدزنگ است.
- به دلیل نزدیکی بسیار زیاد الکتروود با فیبرهای عضلانی، سیگنال برداشته شده قوی و کم نویز است.
- برای ثبت سیگنال EMG یک یا دو فیبر عضلانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- این نوع الکتروودها، فیبرهای عضلانی که کمی با محل الکتروود فاصله داشته و مشکل دارند را، نمی‌تواند تشخیص دهد ولی برای ثبت موضعی ایده آل است.



## ب- الکترودهای ثبت EMG (ادامه...)

### ۲- الکتروود سطحی

- برای ثبت فعالیت کلی عضله از الکترودهای سطحی استفاده می‌شود.
- الکترودهای سطحی به دو نوع خشک و ژل دار تقسیم می‌شود.
- الکتروود های خشک در جایی که امکان مصرف ژل وجود ندارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. باید دقت کرد که در این حالت امپدانس بین پوست و الکتروود افزایش می‌یابد.
- سعی می‌شود که شکل الکتروودها با انحناي پوست همخوانی داشته باشد.
- الکترودهای سطحی از جنس نقره-کلرید نقره و یا طلا می‌سازند و با ژلهایی با ترکیب کلرید پتاسیم برای مرطوب کردن پوست استفاده می‌شود.

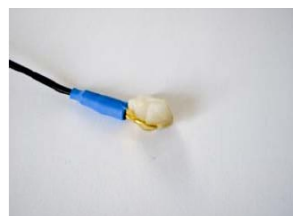
## ب- الکترودهای ثبت EMG (ادامه...)

- امپدانس الکتروود سطحی بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ اهم متغیر است، که با توجه به نوع الکتروود، محل تماس الکتروود- الکتروولیت و فرکانس کاری تعیین می گردد.
- فرکانس کاری در EMG سطحی بین ۶ تا ۵۰۰ هرتز است که بیشترین مؤلفه های آن در بازه ۲۰ تا ۱۵۰ هرتز قرار دارد.



## ج- الکترودهای ثبت EEG

- الکترودهای ثبت EEG معمولاً از جنس نقره-کلرید نقره ساخته شده و ممکن است به صورت یکی از شکل های زیر باشند:
  - ۱- به شکل فنجانهای کوچکی است که از آلیاژ نقره-پلاتین ساخته می شوند که معمولاً با ژل های مخصوصی استفاده می شوند. عیب آن مشکل بودن نصب و تثبیت آن روی سر است.



## ج- الکترودهای ثبت EEG (ادامه...)

### ۲- الکترودهای بشقابی:



- بر روی پایه ای که انتهای آن به صورت پیچ است و در یک خرک قابل تنظیم قرار می گیرد، نصب می شوند.
- این خرکها بوسیله کلاه مخصوص روی سر ثابت نگاه داشته می شود.
- نیاز به ژل الکترولیت ندارد اما برای ارتباط بهتر بین الکتروود و پوست الکترودها را قبل از استفاده در محلول آب نمکی سالین نگه می دارند.
- اشکال آن اکسید شدن الکترودها در اثر مرور زمان است.

## ج- الکترودهای ثبت EEG (ادامه...)

### ۳- الکترودهای سوزنی

- به شکل سوزنهای کوچکی هستند.
- برای نصب الکترودها لازم است آنها را در محل مورد نظر قدری زیر پوست فرو کرد.
- اشکال آن دردناک بودن و امکان عفونت است.

## ج- الکترودهای ثبت EEG (ادامه...)



### ۴- الکترو کپ (electro cap):

- الکترودها در محل های مشخصی از قبل طبق استاندارد ۱۰-۲۰ در داخل کلاه تعبیه شده اند.
- ژل از طریق سرنگ مخصوص به نقاط مورد نظر روی سر و از طریق منفذهای موجود روی کلاه تزریق می شود.
- مزیت آن سهولت استفاده از آن است.
- معمولاً در ثبت های بلند مدت از آن استفاده می شود.

## مبدل ها (Transducers)

- مبدل ها برای اندازه گیری محدوده وسیعی از متغیرهای فیزیولوژیکی استفاده می شوند.
- انواع مبدل ها بر اساس پارامتری که اندازه گیری می کنند:
  - مبدل های فیزیکی
  - مبدل های الکتریکی
  - مبدل های شیمیایی

## مبدل های جابجایی (Displacement Transducers)

- این مبدل ها برای اندازه گیری اندازه، شکل و موقعیت اعضاء و بافتهای بدن استفاده می شوند.

- انواع مبدل های جابجایی:

الف- مبدل های القایی

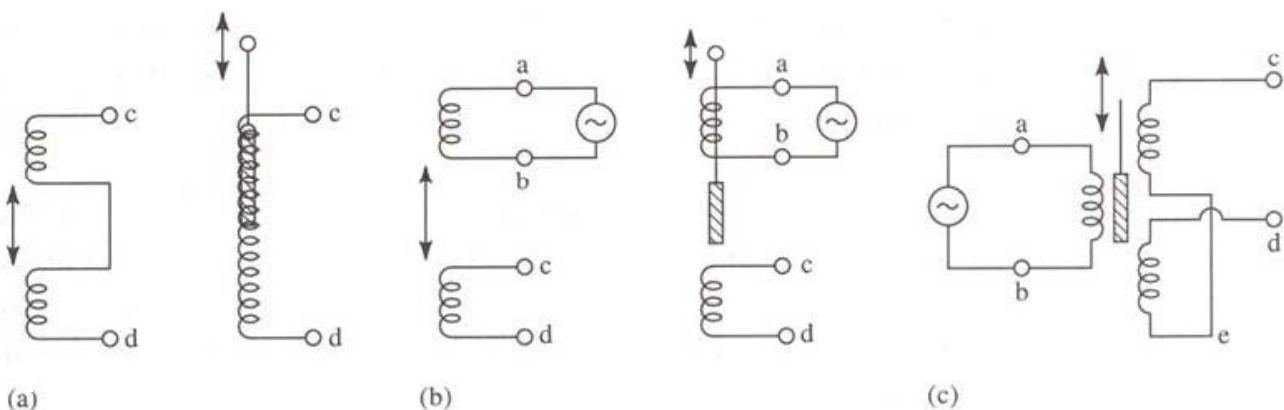
ب- مبدل های مقاومتی

ج- مبدل های خازنی

د- مبدل های پیزوالکتریک

## الف- مبدل های القایی

- این مبدل ها، جابجایی را بر اساس تغییرات ایجاد شده در اندوکتانس خودی یک سلف یا اندوکتانس متقابل بین دو سلف اندازه می گیرند.

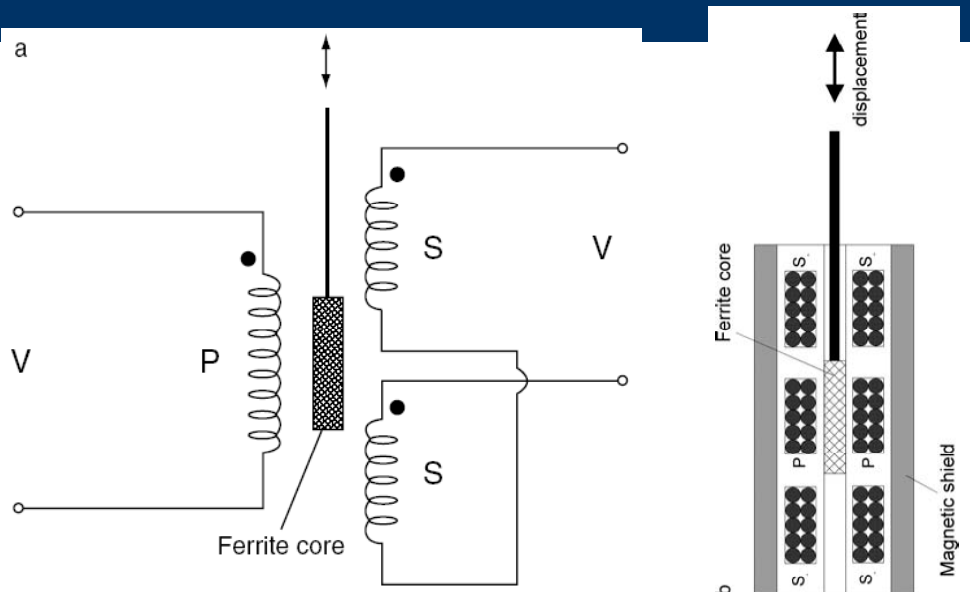


## الف- مبدل های القایی (ادامه...)

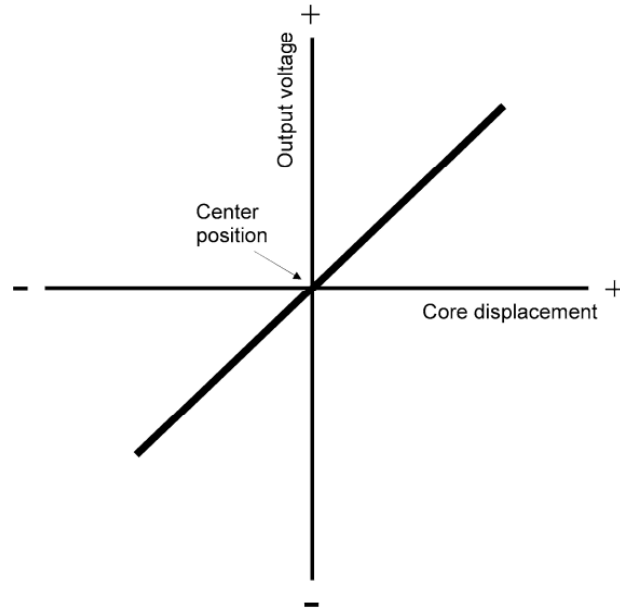
### • کاربردهای مبدل های القایی

- اندازه گیری ابعاد قلبی،
- مانیتورینگ تنفس نوزاد،
- تعیین قطر شریانها

## مبدل القایی LVDT (Linear Variable Differential Transformer)



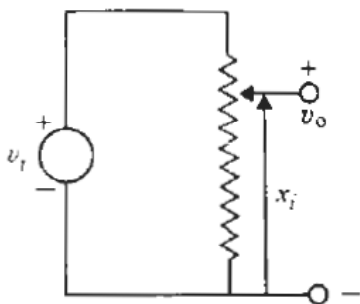
## مبدل القای LVDT (ادامه...)



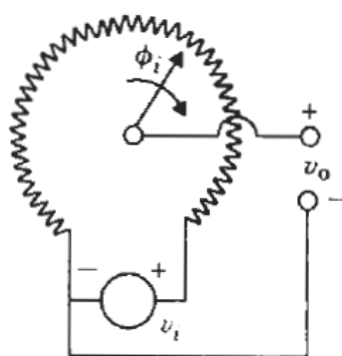
**Figure 9.6** Output voltage versus core displacement of a typical LVDT transducer.

## ب- مبدل های مقاومتی

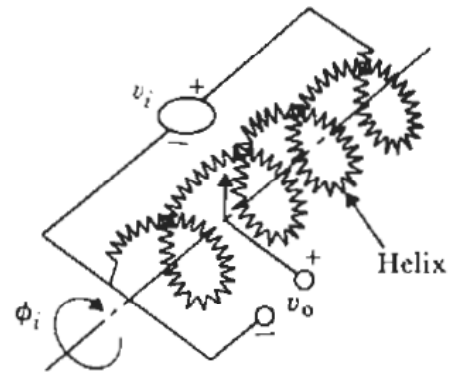
• انواع مبدل مقاومتی پتانسیومتری



(a) Translational



(b) Single-turn



(c) Multi-turn

## ب- مبدل های مقاومتی (ادامه...)

### • کرنش سنج ها (استرین گیج)

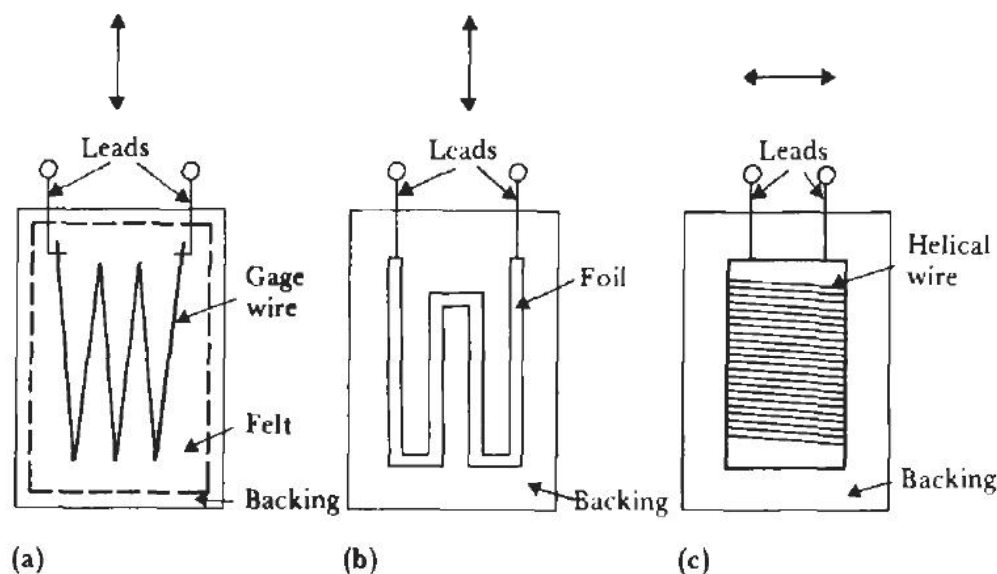
- زمانی که یک سیم ظریف (با قطر حدود ۲۵ میکرومتر) تا حد الاستیکی اش کشیده شود، مقاومت سیم تغییر می کند.
- کرنش سنج ها در اندازه گیری جابجایی های خیلی کوچک در حد نانومتر به کار می روند.
- فاکتور  $G$  برای مقایسه مواد مختلف برای اندازه گیری میزان تغییرات مقاومت ایجاد شده در ماده به ازای تغییر طول مفید است.

$$G = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$

### • انواع کرنش سنج ها

- کرنش سنج های مهارشده
- کرنش سنج های مهارنشده

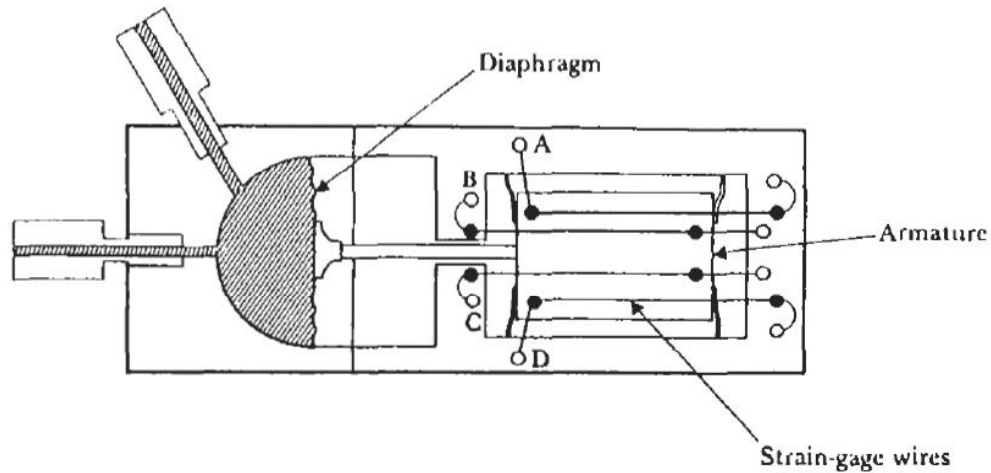
## انواع کرنش سنج های مهارشده



**Figure 2.3** Typical bonded strain-gage units (a) Resistance-wire type. (b) Foil type. (c) Helical-wire type. Arrows above units show direction of maximal sensitivity to strain.

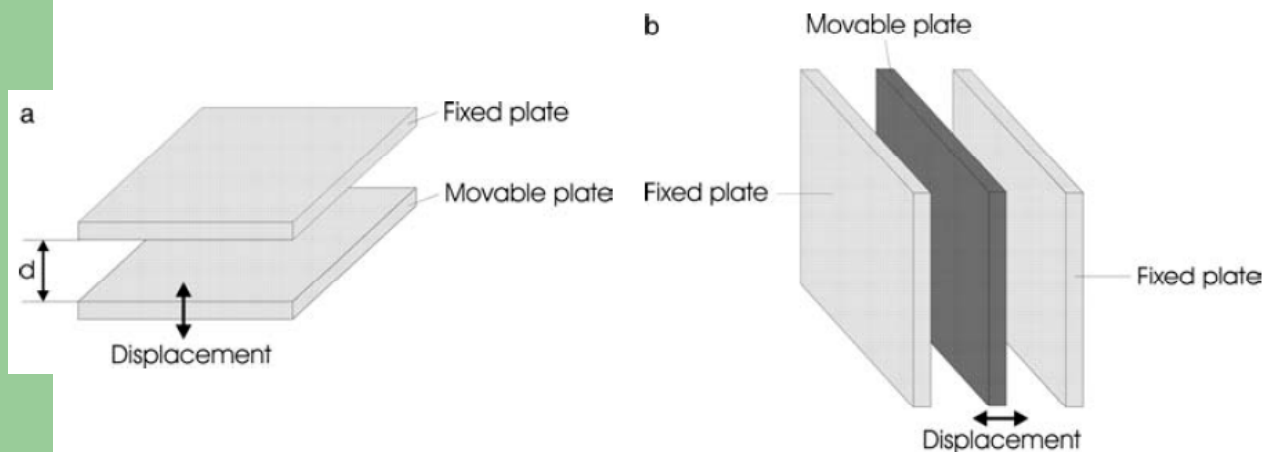


## کرنش سنج مهارنشده



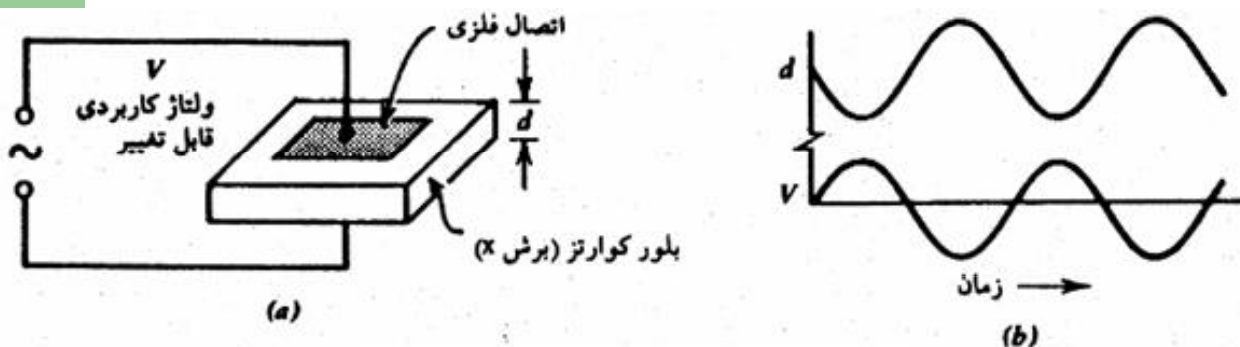
**Figure 2.2** (a) Unbonded strain-gage pressure sensor. The diaphragm is directly coupled by an armature to an unbonded strain-gage system. With increasing pressure, the strain on gage pair B and C is increased, while that on gage pair A and D is decreased.

## ج- مبدل های خازنی



**Figure 9.12** Capacitive displacement transducer: (a) single capacitance and (b) differential capacitance.

## د- مبدل پیزوالکتریک



شکل ۹-۱۲. رفتار یک کریستال کوارتز در تولید اولتراسوند. (a) اتصال الکترودها؛ (b) تغییر ضخامت کریستال با قطر  $d$  (در اینجا بسیار بزرگ نشان داده شده است) به ازای یک ولتاژ متغیر وارد شده؛

51

## مبدل جریان هوا

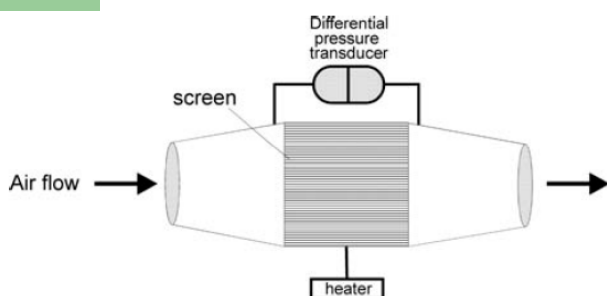
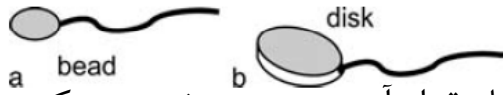


Figure 9.14 Fleish airflow transducer.

- جریان هوا از طریق عبور از لوله مخروطی شکل و برخورد با پرده نازک وسط لوله تولید فشار می کند.
- با اندازه گیری فشار تولید شده، جریان هوا قابل محاسبه خواهد بود.
- هیتر نقش گرم کردن هوا برای جلوگیری از ایجاد بخار آب را دارد.
- این مبدل برای اندازه گیری حجم، جریان و نرخ تنفس بیماران در ونتیلاتور مکانیکی کاربرد دارد.

52

## مبدل های اندازه گیری دما



### • ترمیستور

- مقاومت ویژه ای است که با تغییر دما مقدار آن به سرعت تغییر می کند. (تقریباً ۵٪ به ازای یک درجه سانتیگراد)

### • ترموکوپل

- از دو اتصال از دو فلز مختلف ساخته شده است.
- یک اتصال را معمولاً در یک دمای مرجع، مانند حمامی از آب و یخ نگهداری می کنند و اتصال دیگر را در محل مورد نظر برای اندازه گیری دما قرار می دهند.
- در اثر اختلاف دما در محل دو اتصال، ولتاژ تولید می شود.

## مبدل های اندازه گیری گازهای خونی

### • کاربردهای اندازه گیری گازهای خونی

- مشخص کردن وضعیت تنفس
- مدیریت عوامل دارویی

### • این اندازه گیری ها شامل اطلاعاتی درباره:

- عدم تعادل تنفسی،
- متابولیسی،
- کفایت ترکیب اکسیژن با خون
- حذف دی اکسید کربن از خون در بدن است.

## مبدل های اندازه گیری گازهای خونی

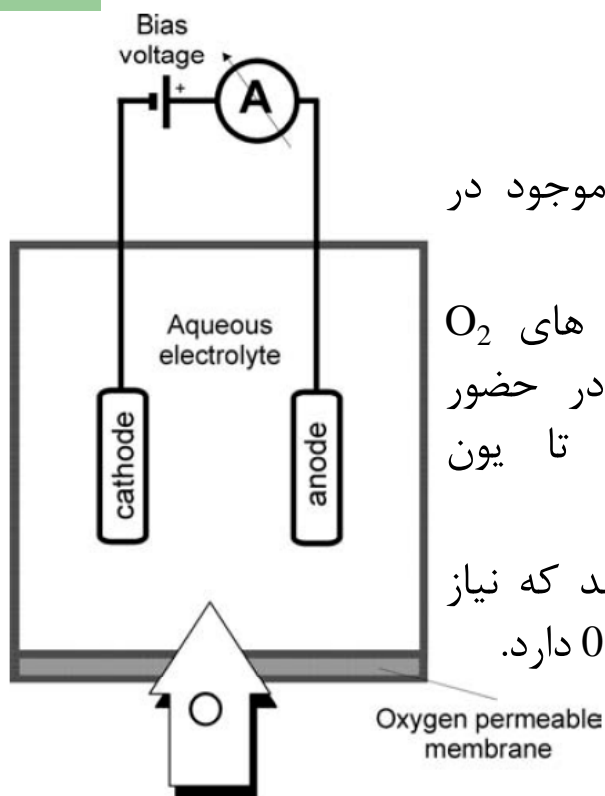
- پارامترهای قابل اندازه گیری شامل:

- فشار جزئی اکسیژن یا درصد اشباع اکسیژن
- میزان دی اکسید کربن
- PH

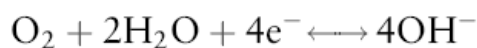
## مبدل های اندازه گیری اکسیژن خون

- اندازه گیری فشار جزئی اکسیژن خون با استفاده از الکترودهای کلارک
- اندازه گیری درصد اشباع اکسیژن خون با استفاده از حجم سنجی نوری خون (فتوپلیتیسموگرافی)

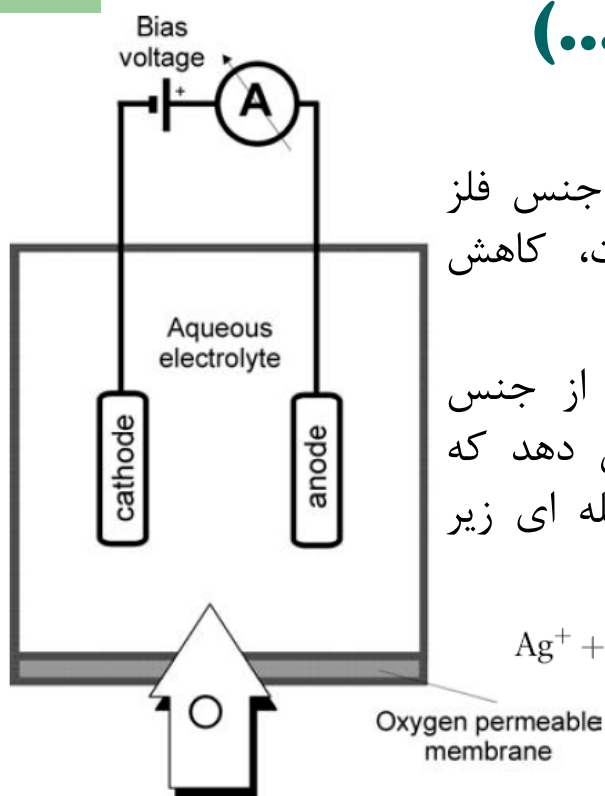
## اندازه گیری فشار جزئی اکسیژن با استفاده از الکترودهای کلارک



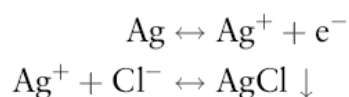
- برای اندازه گیری میزان اکسیژن موجود در حجم مشخصی از خون
- الکتروده کلارک از قابلیت مولکول های  $O_2$  برای واکنش شیمیایی با  $H_2O$  در حضور الکترون ها استفاده می کند، تا یون هیدروکسید ( $OH^-$ ) تولید کند.
- به این فرآیند اکسایش/کاهش گویند که نیاز به اعمال منبع ولتاژ ثابت حدود  $0.6V$  دارد.



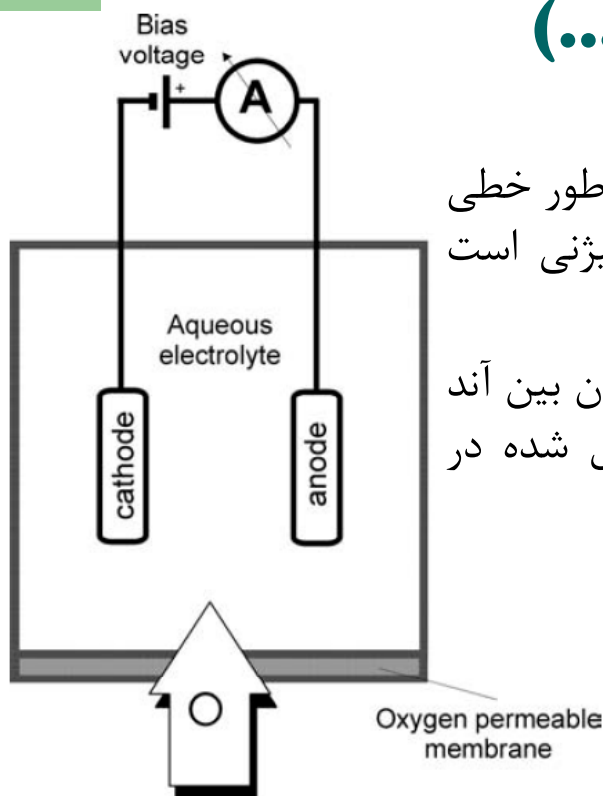
## اندازه گیری فشار جزئی اکسیژن با استفاده از الکترودهای کلارک (ادامه...)



- اکسیژن در سطح فلز کاتد که از جنس فلز بی اثر مثل پلاتینیوم یا طلا است، کاهش می یابد (مصرف می شود).
- یونهای  $OH^-$  در الکتروده آند (که از جنس نقره-کلرید نقره است) واکنش می دهد که منجر به واکنش اکسایش دو مرحله ای زیر می شود:



## اندازه گیری فشار جزئی اکسیژن با استفاده از الکترودهای کلارک (ادامه...)



- جریان تولید شده بین کاتد و آند به طور خطی وابسته به تعداد مولکول های اکسیژنی است که در کاتد مصرف می شوند.
- بنابراین با اندازه گیری تغییرات جریان بین آند و کاتد می توان مقدار اکسیژن حل شده در محلول را تعیین کرد.

## اندازه گیری فشار جزئی اکسیژن با استفاده از الکترودهای کلارک از طریق پوست

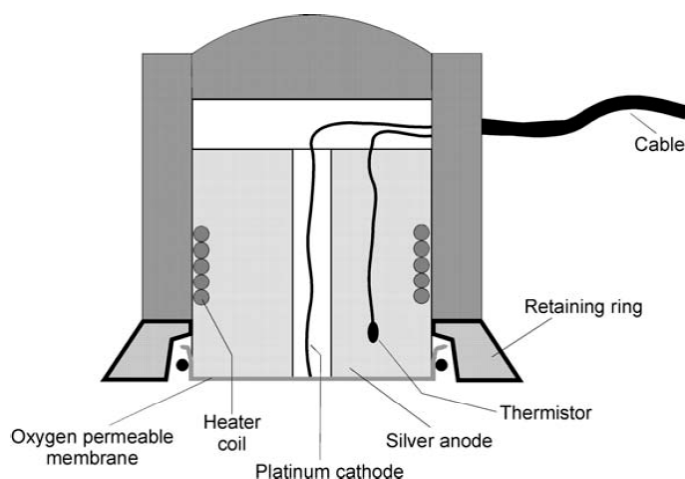


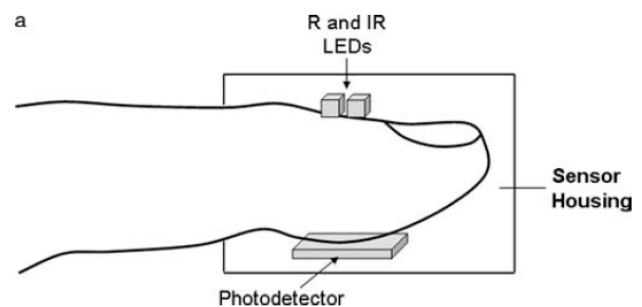
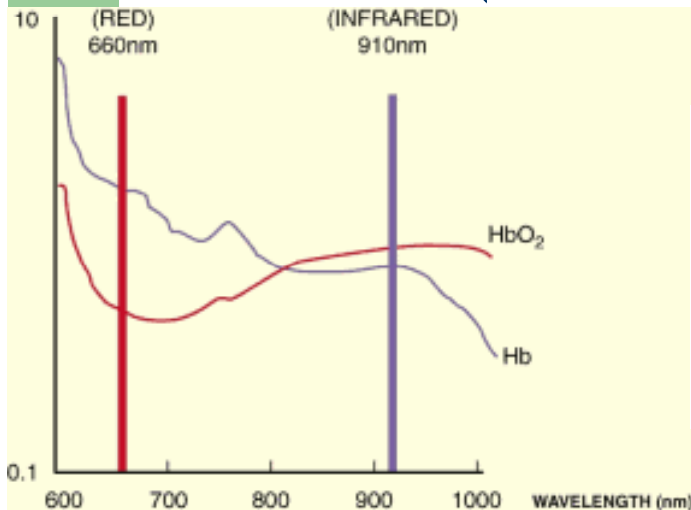
Figure 9.20 Transcutaneous pO<sub>2</sub> sensor.

- این الکتروده از طریق چسب دوطرفه به پوست وصل می شود.
- سپس فشار جزئی اکسیژن خون که از طریق پوست به داخل الکتروده کلارک نفوذ پیدا می کند، به طریق مشابه در نمونه ای از خون اندازه گیری می کند.
- به دلیل انتشار بسیار آهسته اکسیژن از طریق پوست، یک سیم پیچ حرارتی در داخل محفظه منجر به انبساط ملایم مویرگهای پوست (افزایش جریان خون موضعی) می شود.
- این روش برای نظارت بر نوزادان در NICU استفاده می شود.



## اندازه گیری درصد اشباع اکسیژن خون با استفاده از حجم سنجی نوری خون (فتوپلیتیسموگرافی)

- خون اکسیژن دار ← رنگ قرمز روشن
- خونی که اکسیژن آن مصرف شده ← رنگ آبی تیره



## اندازه گیری درصد اشباع اکسیژن خون با استفاده از فتوپلیتیسموگرافی (ادامه...)

- بر اساس توان نور عبور کرده ( $P_t$ ) و توان نور اولیه ( $P_0$ ) و رابطه زیر، درصد اشباع اکسیژن خون محاسبه می شود:

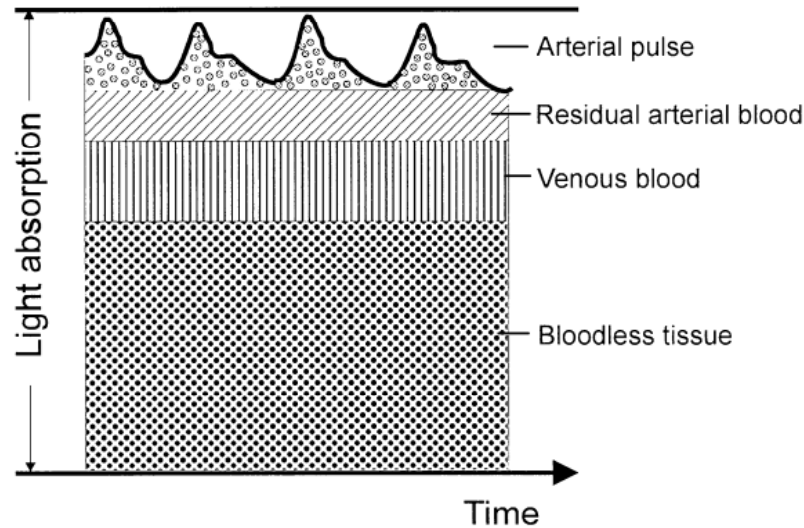
$$SO_2 = A - B \times \left[ \frac{OD(\lambda_1)}{OD(\lambda_2)} \right]$$

A و B ضرایب مرتبط با ضریب جذب هموگلوبین و اکسی هموگلوبین،  
OD بیانگر میزان جذب نور در طول موج مشخص و برابر است با:

$$\log_{10}\left(\frac{1}{T}\right),$$

$$T = \frac{P_t}{P_0}$$

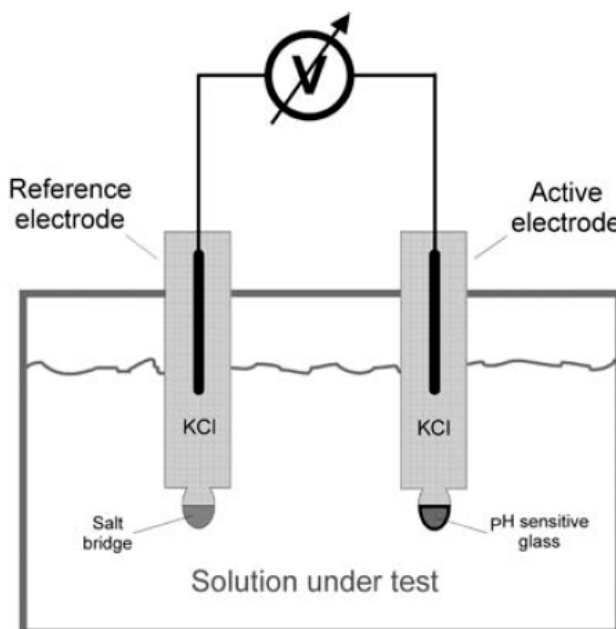
## سیگنال فتوپلیتیسموگراف (PPG)



63

**Figure 9.23** Time dependence of light absorption by a peripheral vascular tissue bed illustrating the effect of arterial pulsation.

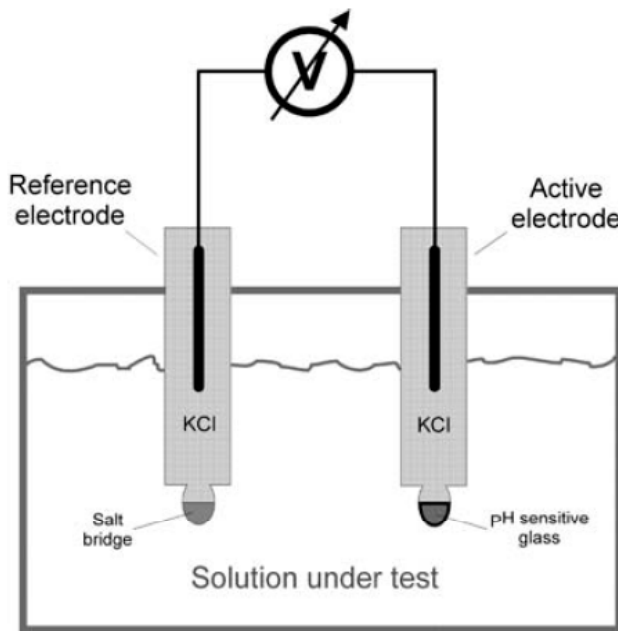
## مبدل اندازه گیری PH خون



- اندازه گیری PH خون برای بررسی عملکرد صحیح کلیه ها و نیز عملکرد ریه ها در دفع دی اکسید کربن مفید است.
- در یک شخص نرمال PH خون برابر ۷.۴ است.
- مبدل شامل دو الکترود مرجع و فعال است.
- الکترودها از جنس نقره-کلریدنقره هستند که در محفظه ای شامل محلول کلرید پتاسیم غوطه ور هستند.



## مبدل اندازه گیری PH خون (ادامه...)



- همچنین الکترودها توسط یک محفظه شیشه ای پوشانده شده اند.
- الکتروود مرجع توسط لوله حاوی نمک مهار شده است به نحویکه دیواره آن نسبت به تمام یونها نفوذ پذیر است.
- به همین دلیل، پتانسیل الکتروود مرجع صرفنظر از محلول تحت آزمایش، ثابت است.
- اما الکتروود فعال توسط لوله شیشه ای حاوی هیدروژن نفوذ ناپذیر مهار شده است.
- تنها نوک الکتروود فعال قابلیت نفوذ پذیری نسبت به یونها را دارد.

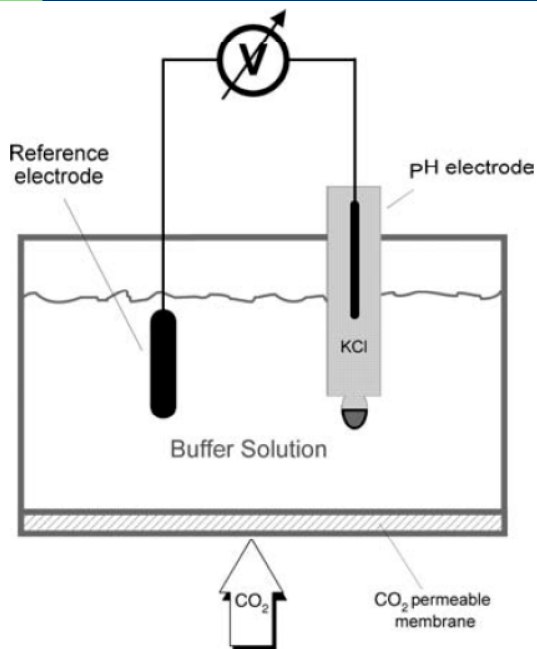
## مبدل اندازه گیری PH خون (ادامه...)

- اختلاف پتانسیل الکتروود فعال نسبت به الکتروود مرجع طبق رابطه زیر متناسب با PH محلول تحت آزمایش است:

$$V = 59 \text{ mV} \times \text{pH} + C$$

- ضریب C ثابت کالیبراسیون است که از طریق قرار دادن الکتروود در یک محلول بافر استاندارد با PH مشخص، قابل محاسبه است.

## مبدل اندازه گیری دی اکسید کربن خون



- دی اکسید کربن محلول در خون باعث تغییر در PH خون می شود.
- طی رابطه زیر، دی اکسید کربن با مولکول آب واکنش کرده و تشکیل اسید کربنیک می دهد و متعاقباً باعث ایجاد یون هیدروژن و بی کربنات می شود.
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$$
- طی این واکنش PH خون تغییر می کند.
- بنابراین تغییرات دی اکسید کربن محلول در خون متناسب با تغییرات PH خون، است.