الباب الأول

# تجهيزات المراقبة و التسجيل و القياس

- الفصل الأول: أسس التجهيزات الطبية
- الفصل الثاني: الإشارات الكهروحيوية والإلكترودات
- الفصل الثالث: المبدلات (ا سات) الفيزيولوجية
- الفصل الرابع: أنظمة التسجيل
- الفصل الخامس: المسجلات الطبية الحيوية
- الفصل السادس: أنظمة مراقبة المريض
- الفصل السابع: تجهيزات المراقبة المتنقلة واضطراب النظم
- الفصل الثامن: تجهيزات مراقبة الجنين
- الفصل التاسع: التطبيب والقياس الطبي الحيوي عن بعد
- الفصل العاشر: مقاييس التأكسج
- الفصل الحادي عشر: مقاييس تدفق الدم
- الفصل الثاني عشر: قياس النتاج القلبي
- الفصل الثالث عشر: أجهزة تحليل وظائف الرئة
- الفصل الرابع عشر: الأجهزة المخبرية الأكلينيكية
- الفصل الخامس عشر: أجهزة تحليل غازات الدم
- الفصل السادس عشر: عدادات خلايا الدم
- الفصل السابع عشر: مساعدات ومقاييس السمع
- الفصل الثامن عشر: سلامة المريض

# الفصل الأول

## أسس التجهيزات الطبية
## FUNDAMENTAL OF MEDICAL INSTRUMENTATION

لقد كان هناك في الربع الأخير من القرن العشرين تزايد كبير في استخدام الأجهزة الكهربائية والإلكترونية في الحقل الطبي لأغراض سريرية وبحثية. إن الوظيفة الرئيسية في نظام تجهيزات طبية ما هي قياس أو تقرير وجود كمية فيزيائية ما من الممكن أن تكون مفيدة لأغراض التشخيص. ولذلك فإن كثيراً من أنواع أنظمة التجهيزات يستخدم في المستشفيات وعيادات الأطباء.

### (١,١) التشريح والفيزيولوجيا
### Anatomy and Physiology

إن معرفة بنية الجسم الحي ووظائفه أساسي لفهم عمل غالبية التجهيزات الطبية. ويعرف علم بنية الجسم بعلم "التشريح" وعلم وظائفه بعلم "الفيزيولوجيا".

يتم تصنيف التشريح طبقا للقاعدة التالية :

**التشريح الإجمالي :** ويتعامل مع دراسة بنية الأعضاء كما تُرى بالعين المجردة بالتشريح, فيصف الشكل والحجم والمكونات والمظهر للعضو الخاضع للدراسة.

**التشريح الوصفي الموضعي :** ويتعامل مع موضع الأعضاء بالنسبة لبعضها بعضا كما تُرى في مقاطع عبر الجسم في مستويات مختلفة.

**التشريح المجهري (علم النسج) :** وهو دراسة البنية الدقيقة للأعضاء بواسطة المجهر.

**علم الخلية :** وهو حقل خاص من علم النسج تتم فيه دراسة بنية ووظيفة وتطور الخلايا.

وبشكل مشابه فإن الفيزيولوجيا ذات العلاقة بالوظائف العادية لأعضاء الجسم يمكن تصنيفها بطرق مختلفة ، فمثلاً :

**فيزيولوجيا الخلية :** هي دراسة وظائف الخلايا.

**الفيزيولوجيا المرضية :** وتتعلق بالوظائف المرضية للأعضاء (دراسة أو أعراض الأمراض).

بالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن عمل تصنيف يدخل في المجالات الفرعية التي تتعامل مع أعضاء مختلفة. مثل :

**فيزيولوجيا الدوران :** وهو دراسة دوران الدم ذي العلاقة بوظيفة القلب.

**فيزيولوجيا التنفس :** ويتعامل مع قيام أعضاء التنفس بعملها.

## (١,٢) أنظمة الجسم الفيزيولوجية
## Physiological Systems of the Body

الجسم الإنساني أعجوبة هندسية معقدة تشتمل على أنواع مختلفة من الأنظمة كالكهربائية، والميكانيكية، والهيدروليكية، والغازية، والكيميائية، والحرارية ...الخ. تتواصل هذه الأنظمة داخليا مع بعضها بعضا ومع البيئة الخارجية. كل نظام من هذه الأنظمة، وبواسطة نظام تحكم متعدد المستويات وشبكة اتصالات، يمكّن الجسم الإنساني من أداء وظائف مفيدة والإبقاء على الحياة وإعادة إنتاج نفسه.

وبالرغم من أن تغطية بمعلومات تفصيلية حول الأنظمة الفيزيولوجية تقع خارج نطاق هذا الكتاب، إلا أنه سيتم فيما يلي أدناه إعطاء وصف مختصر للأنظمة الفرعية الرئيسية للجسم وذلك من أجل شرح المفاهيم الهندسية للجسم الإنساني.

### (١,٢,١) النظام القلبي الوعائي Cardiovascular System

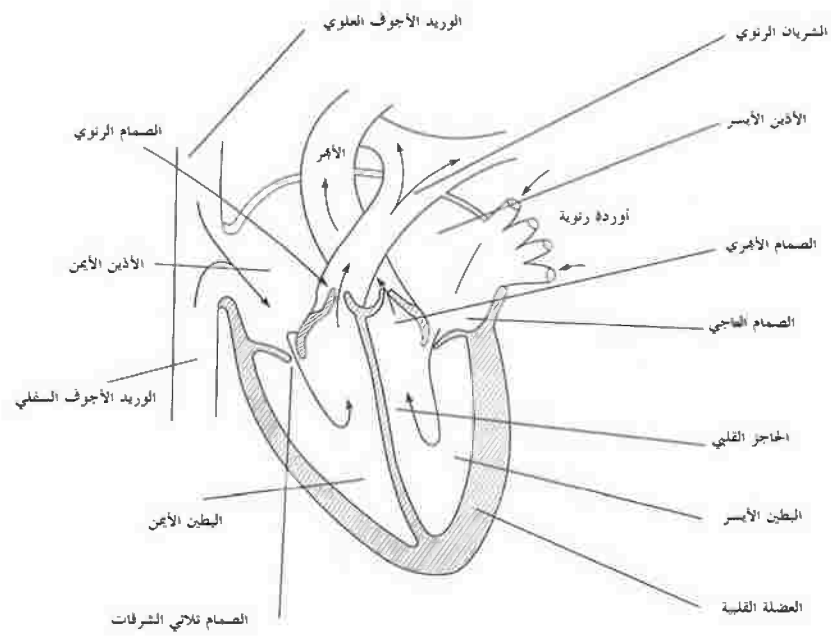
وهو نظام هيدروليكي مغلق معقد يقوم بأداء الخدمة الجوهرية لنقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ومركبات كيميائية عديدة وخلايا الدم. يتم تقسيم القلب من الناحية البنيوية إلى قسمين : أيمن وأيسر، وكل قسم منهما له حجرتان تسميان الأذين والبطين. للقلب أربعة صمامات (الشكل رقم ١,١) :

- الصمام ثلاثي الشرف : أو الصمام الأذيني البطيني الأيمن بين الأذين والبطين الأيمنين. يتألف هذا الصمام من ثلاث شرائح أو شرفات، ويمنع السريان الراجع للدم من البطين الأيمن إلى الأذين الأيمن.
- الصمام التاجي ثنائي الشرفات : أو الصمام الأذيني البطيني الأيسر بين الأذين الأيسر والبطين الأيسر. للصمام شريحتان أو شرفتان، وهو يمنع السريان الراجع للدم من البطين الأيسر إلى الأذين الأيسر.
- الصمام الرئوي : وهو عند البطين الأيمن ويتكون من ثلاث شرائح على شكل نصف قمر. وهو لا يسمح للدم بأن يرجع إلى البطين الأيمن.
- الصمام الأبهري (الأورطي) : وهو بين البطين الأيسر والشريان الأبهر، وتشبه بنيته بنية الصمام الرئوي، ويمنع عودة الدم إلى البطين الأيسر من الشريان الأبهر.

يتألف جدار القلب من ثلاث طبقات : (١) التامور (أو الشغاف) وهو الطبقة الخارجية للقلب ويحافظ على السطح الخارجي للقلب رطباً ويمنع الاحتكاك عندما يخفق القلب. (٢) عضلة القلب وهو الطبقة الوسطى من القلب

وهو عضلة القلب الرئيسية والمكوَّنة من ألياف أسطوانية قصيرة. هذه العضلة آلية في عملها تتقلص وترتخي بشكل إيقاعي مدى الحياة. (٣) بطانة القلب وهو الطبقة الداخلية للقلب وتوفر بطانة ناعمة للدم ليجري.

تحمل الأوعية الدموية (والتي هي عبارة عن أنابيب مجوفة) الدم إلى الأجزاء المختلفة من الجسم. وهناك ثلاثة أنواع من الأوعية الدموية: (١) الشرايين، وهي ذات جدران سميكة وتحمل الدم المؤكسج مبتعدة عن القلب. (٢) الأوردة، وهي ذات جدران رقيقة وتحمل الدم منزوع الأكسجين باتجاه القلب. (٣) الشعيرات، وهي المستوى الأخير والأكثر صغراً من الأوعية الدموية، وهي من الصغر بحيث أن الخلايا الدموية التي يتكون منها الدم تجري في الحقيقة واحد بعد الأخرى عبرها. ويقدر أن هناك ما يزيد عن ثمانمائة ألف كيلومتر من الشعيرات الدموية في الإنسان والتي تتضمن جميع الشرايين والأوردة التي تحمل دماً.



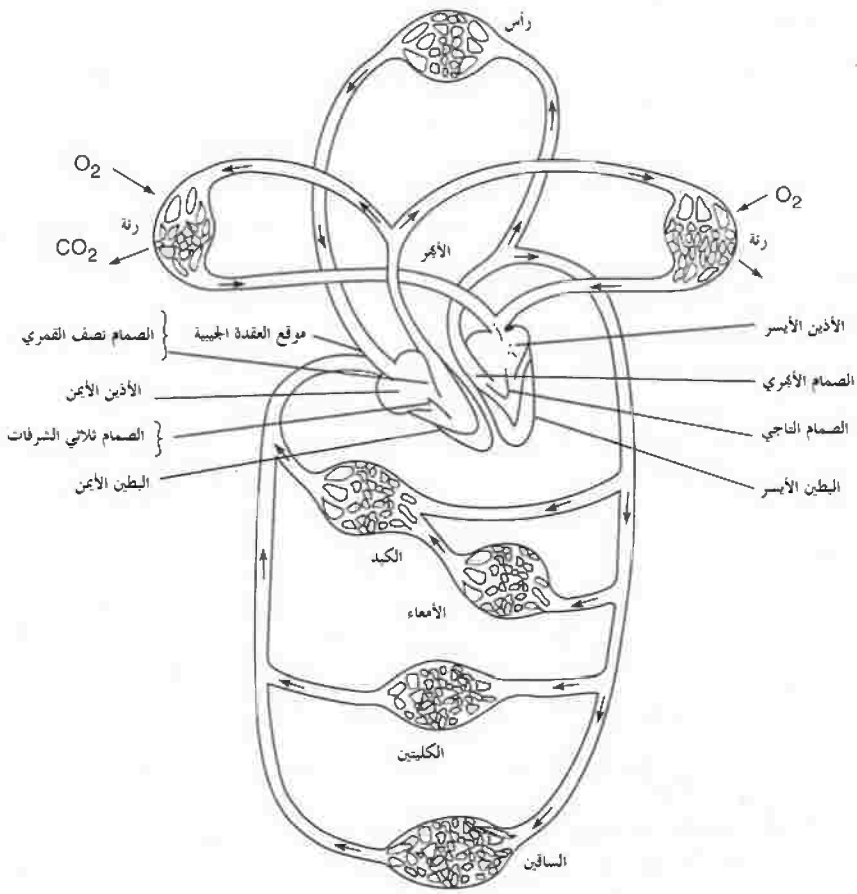

**الشكل رقم (١,١). بنية القلب.**

إن القلب الذي يدفع الدم خلال الأوعية الدموية لنظام الدوران (الشكل رقم ١,٢) يتألف من وجهة النظر الهندسية من مضخة عضلية رباعية الحجرات تخفق حوالي (٧٢) خفقة في الدقيقة (في المتوسط لبالغ عادي) مرسلة الدم عبر كل جزء من أجزاء الجسم. تعمل هذه المضخة كمضختين متواقتتين ولكن من الناحية الوظيفية مضختين معزولتين ثنائيتي المراحل. تجمع المرحلة الأولى من كل مضخة (الأذين) الدم من النظام الهيدروليكي وتضخه في

المرحلة الثانية (البطين). يضخ القلب في هذه العملية الدم عبر الدوران الرئوي إلى الرئة وعبر الدوران الجسمي إلى الأجزاء الأخرى من الجسم.

يسري الدم الوريدي (منزوع الأكسجين) في الدوران الرئوي من البطين الأيمن وعبر الشريان الرئوي إلى الرئتين حيث تتم أكسجته وتخليصه من ثاني أكسيد الكربون. ومن ثم يسري الدم الشرياني (المؤكسج) عبر الوريد الرئوي إلى الأذين الأيسر.

أما في الدوران البدني فإن الدم يتم دفعه عبر الأوعية الدموية المرنة عموماً. يسري الدم من الأذين الأيسر إلى البطين الأيسر ويتم ضخه عبر الأبهر وفروعه (الشرايين) إلى داخل الجسم. وعبر الشرايين الصغيرة (الشرينات) يتم توزيع الدم إلى الشعيرات الدموية في النسج حيث يعطي أكسجينه ومركبات كيميائية ويأخذ ثاني أكسيد الكربون ونواتج الاحتراق.




**الشكل رقم (١,٢). النظام الدوراني.**

يعود الدم إلى القلب عبر مسارات مختلفة من أجزاء مختلفة من الجسم. وفي العادة يمر الدم من الجانب الوريدي للشعيرات مباشرة عبر النظام الوريدي إما إلى الوريد الأجوف العلوي وإما إلى الوريد الأجوف السفلي واللذين ينتهيان كلاهما إلى الأذين الأيمن. أما القلب نفسه فتتم تغذيته بالدم عن طريق شريانين صغيرين ولكن بالغي الأهمية وهما الشريانان التاجيان (الإكليليان). يتفرع الشريانان التاجيان عن الشريان الأبهر فوق القلب مباشرة. وإذا ما سُدَّ الشريانان التاجيان بخثرات تاجية فإن نتيجة ذلك هو الاحتشاء القلبي الذي يقود غالباً إلى حالة مهلكة.

يتم التحكم بمعدل ضربات القلب جزئياً عن طريق نظام عصبي مستقل وجزئياً عن طريق نشاط هرموني. وهذه تتحكم بسرعة ضخ القلب وفعاليته وشكل جريان السائل عبر النظام.

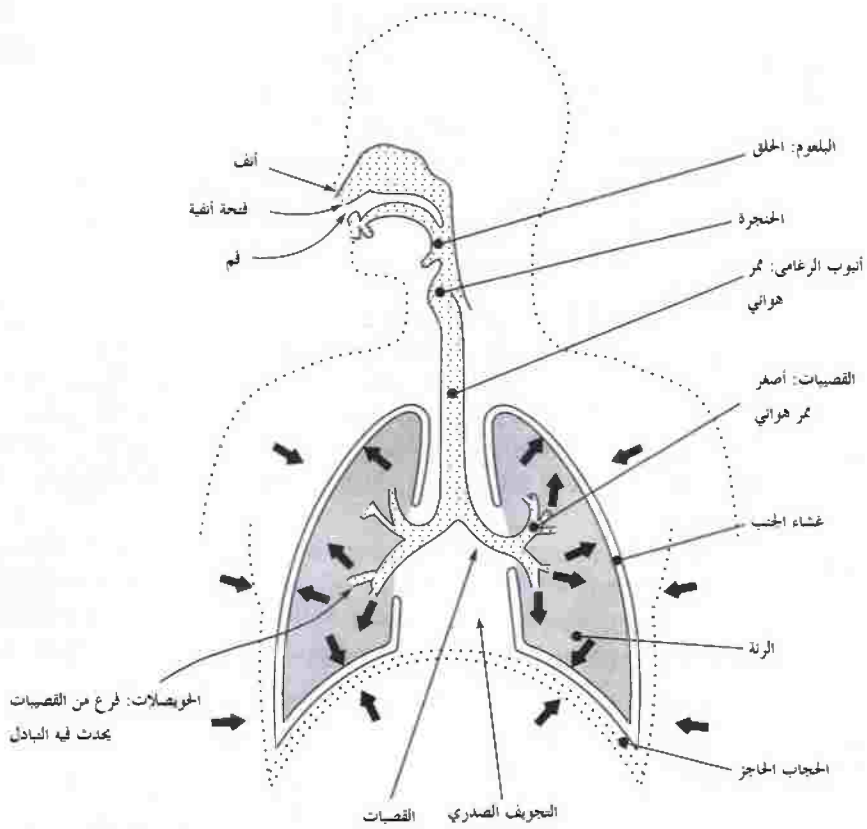
نظام الدوران هو نظام النقل في الجسم والذي يتم عن طريقه نقل الغذاء والأكسجين والماء ومواد أساسية أخرى إلى خلايا الجسم ونقل الفضلات منها. وهذا يحدث من خلال عملية انتشار يتم فيها انتشار الغذاء من الخلية الدموية وعبر الجدار الشعيري إلى السائل الخلالي. وينتشر بشكل مشابه ثاني أكسيد الكربون وبعض الفضلات من السائل الخلالي وعبر الجدار الشعيري إلى الخلية الدموية.

يتم فحص حالة النظام القلبي الرئوي بقياسات دموية حركية (هيموديناميكية) وبتسجيل النشاط الكهربائي لعضلة القلب ECG وبالإصغاء إلى أصوات القلب (تخطيط صوت القلب). ومن أجل تقييم أداء القلب كمضخة فإنه يتم قياس الخرج القلبي (كمية الدم التي يضخها القلب في وحدة الزمن) وضغط الدم وسرعة جريانه وحجمه وذلك في مواضع مختلفة على طول النظام الدوراني.

**(١,٢,٢) النظام التنفسي Respiratory System**

النظام التنفسي في الجسم الإنساني (الشكل رقم ١,٣) نظام هوائي تقوم فيه مضخة هواء (الحجاب الحاجز) بإحداث ضغط سالب وضغط موجب على التناوب في حجرة مغلقة (التجويف الصدري) مما يتسبب في امتصاص الهواء إلى داخل زوج من الأكياس المرنة (الرئتين) ثم طرده خارجهما. وتتصل الرئتان بالوسط الخارجي بممر يتكون من التجاويف الأنفية والبلعوم والحنجرة والرغامى والقصبات والقصيبات الهوائية. يتفرع الممر ليحمل الهواء إلى كل من الرئتين حيث يتفرع هناك ثانية مرات عديدة ليحمل الهواء إلى ومن العديد من المساحات الهوائية الصغيرة (الحويصلات) داخل الرئتين.

وفي المساحات الهوائية الصغيرة هناك غشاء يشكل سطح تماس مع النظام الهيدروليكي للجسم يتمكن من خلالها بعض الغازات من الانتشار. يتم أخذ الأكسجين إلى الدم من الهواء الداخل ونقل ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الهواء تحت تحكم المضخة الهوائية. وهكذا فإن الدوران الدموي يشكل المفصل في تزويد النسج بالأكسجين وإخراج فضلات الاستقلاب (الأيض) الغازية. إن حركة الغازات بين الدم والهواء الحويصلي تعود بشكل أساسي إلى حركة جزيئية أو انتشار من نقاط ذات ضغط أعلى إلى نقاط ذات ضغط أخفض.




**الشكل رقم (١,٣). النظام التنفسي**

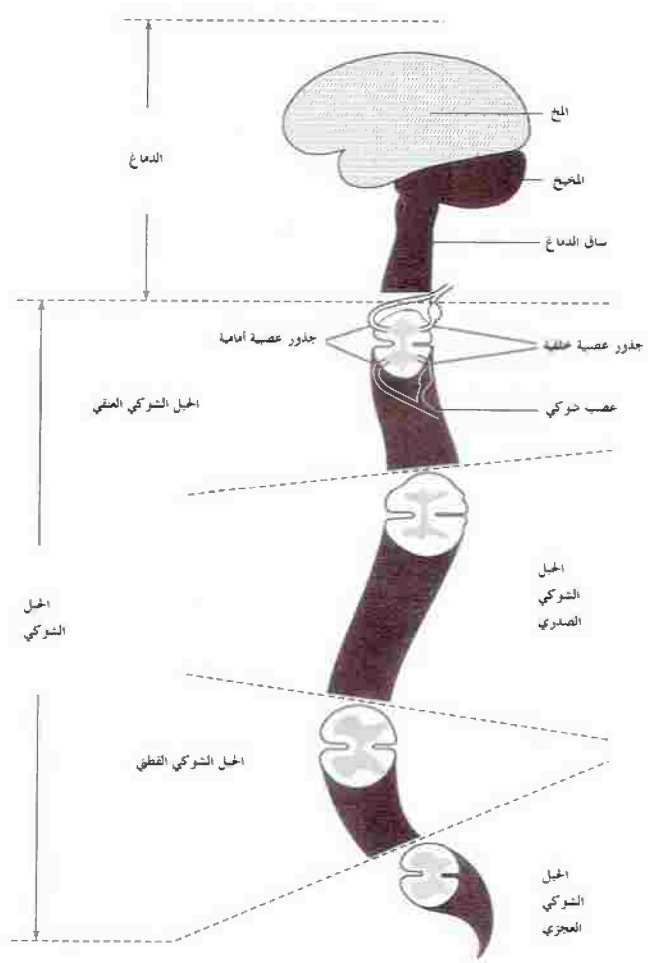
يحافظ مركز التحكم الآلي بالتنفس في الدماغ على عملية الضخ القلبي عند سرعة مناسبة للتزود بالأكسجين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون كما هو مطلوب من النظام. يتم تحت الظروف العادية في كل دقيقة إعطاء ٢٥٠ ميليلتر من الأكسجين للجسم وأخذ ٢٥٠ ميليلتر من ثاني أكسيد الكربون منه. وهذه هي كميات الغازين اللذين يدخلان إلى ويغادران الدم في الرئتين. وتحدث تبادلات مشابهة بعكس الاتجاه في النسج حيث يتم إعطاء الأكسجين وأخذ ثاني أكسيد الكربون. وتعتمد كمية ثاني أكسيد الكربون الذي يتم زفره على الاستقلاب وعلى التوازن الحمضي – القاعدي ونمط التنفس. يحدث تبادل الغازات في الحويصلات ويمكن التوصل إليه بالتنفس العادي بواقع (١٥–٢٠) نفس في الدقيقة وكل نفس يستلزم ٥٠٠ ميليلتر من الهواء.

إن متغيرات النظام التنفسي المهمة لتقييم قيام هذا النظام بوظيفته بشكل صحيح هي: معدل مرات التنفس وجريان الهواء التنفسي وحجم الهواء التنفسي وتركيز ثاني أكسيد الكربون في هواء الزفير. كما يتطلب النظام عمل قياسات لحجوم وسعات معينة مثل الحجم المدي (حجم تيدال) والسعة الحيوية والحجم المتبقي وحجم هواء الشهيق الاحتياطي وحجم هواء الزفير الاحتياطي. إن تفاصيل كل ذلك موجودة في الفصل الثالث عشر من هذا الكتاب.

### (١,٢,٣) النظام العصبي (الجملة العصبية) The Nervous System

النظام العصبي هو شبكة التحكم والاتصال للجسم التي تنسق وظائف الأعضاء المختلفة. إن الاتصال السريع بين الأجزاء المختلفة والنشاط المتكامل الفعال للأعضاء والنسج المختلفة والتقلص المتناسق للعضلات. كل ذلك يعتمد بالكامل تقريباً على النظام العصبي. وبذلك فالنظام العصبي هو النظام الأكثر تطوراً وتعقيداً في الجسم. إن مركز جميع هذه الأنشطة هو الدماغ (المعالج المركزي للمعلومات) بذاكرة وقوة حسابية وقدرة على اتخاذ القرار ومكان استضافة قنوات دخل وخرج.

يتألف النظام العصبي من جزأين: مركزي وطرفي. يتكون النظام العصبي المركزي (الجملة العصبية المركزية) من الدماغ والحبل الشوكي، أما النظام العصبي الطرفي فيتكون من الأعصاب ومجموعات العصبونات خارج الدماغ والحبل الشوكي (الشكل رقم ١,٤).



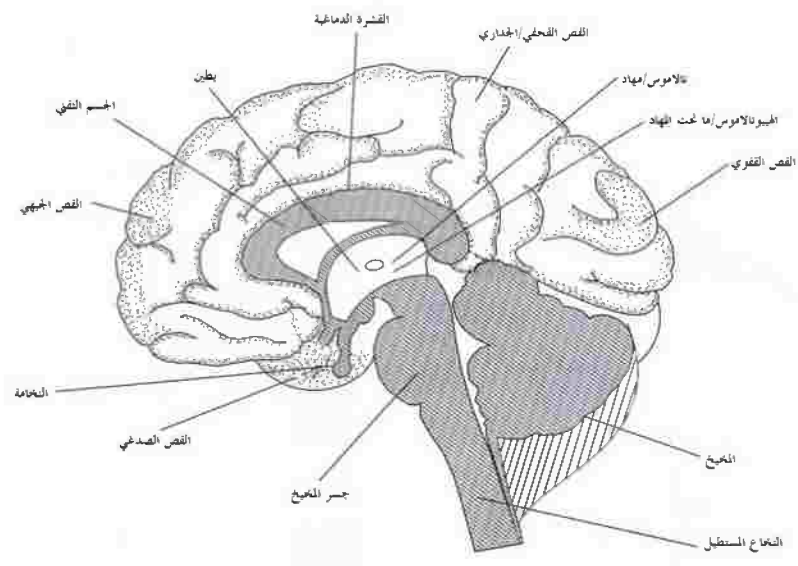

**الشكل رقم (١,٤). النظام العصبي المركزي، الدماغ والحبل الشوكي.**

يتألف الدماغ من ثلاثة أجزاء، وتحديداً المخ والمخيخ وساق الدماغ.

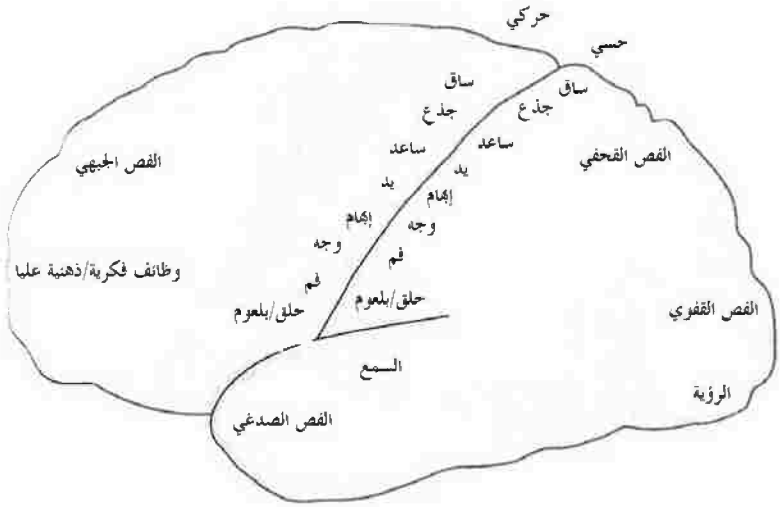
**المخ:** يتألف المخ من نصفين واضحي المعالم، أيمن وأيسر، وكل نصف مقسم فرعياً إلى فصين: جبهي وصدغي في النصف الأيسر وقحفي (جداري) وقفوي في النصف الأيمن (الشكل رقم ١,٥). وتسمى الطبقة الخارجية من الدماغ بالقشرة الدماغية. تصل جميع المدخلات الحسية من مختلف أجزاء الجسم في نهاية المطاف إلى القشرة الدماغية حيث ترتبط مناطق معينة بشكل محدد بوحدات (modalities) حسية محددة من المعلومات الحسية. هناك مناطق مختلفة تكون مسؤولة عن السمع والنظر واللمس والتحكم بالعضلات الإرادية في الجسم.

القشرة الدماغية هي أيضاً مركز الوظائف الذهنية. الفص الأمامي ذو أهمية للذكاء والتخيل البناء والأفكار. وفيه يتم تخزين كميات كبيرة من المعلومات بشكل مؤقت وربطها مع بعضها مما يشكل قاعدة لوظائف ذهنية أعلى.

يتضمن المركز الحسي نسخاً مقابلة للمناطق المختلفة من الجسم في مواقع مختلفة من القشرة. وتأتي المدخلات الحسية من الساقين والجذع والساعدين واليدين والأصابع والوجه والحلق ...الخ. إن مساحة السطح المخصص لكل جزء من أجزاء الجسم متناسب طرداً مع عدد الأعصاب الحسية التي يحتويها أكثر مما يتناسب مع حجمه الفعلي. تنتهي المسارات البصرية في الجزء الخلفي من الفص القفوي، أما بقية الفص القفوي فتختزن الذكريات البصرية التي نفسر بواسطتها ما نرى. وتنتهي المسارات السمعية في الجانب العلوي من الفص الصدغي جاعلة منه مركزاً للسمع يتموضع فوق الأذنين مباشرة. تنتشر العصبونات المقابلة للترددات المختلفة للدخل الصوتي عبر المنطقة حيث تتموضع تلك ذات الترددات الأعلى باتجاه مقدمة الأذن وذات الترددات المنخفضة باتجاه مؤخرة الأذن. الفص الصدغي ذو أهمية أيضاً لعملية التخزين في الذاكرة طويلة الأمد.




**الشكل رقم (١,٥). مقطع في دماغ بشري.**




**الشكل رقم (١,٦). مواقع بعض مراكز النشاط في القشرة الدماغية.**

**المخيخ:** يعمل المخيخ كحاسوب صغري (ميكروكمبيوتر) فيزيولوجي يعترض سبيل أعصاب حسية وحركية من أجل جعل حركة العضلات سلسة حيث كانت ستكون لولا المخيخ ارتعاشية. يتألف المخيخ أيضاً من نصفين ينظمان تنسيق حركة العضلات الناشئة من المخ. كما يمكِّن المخيخ الإنسان من المحافظة على توازنه.

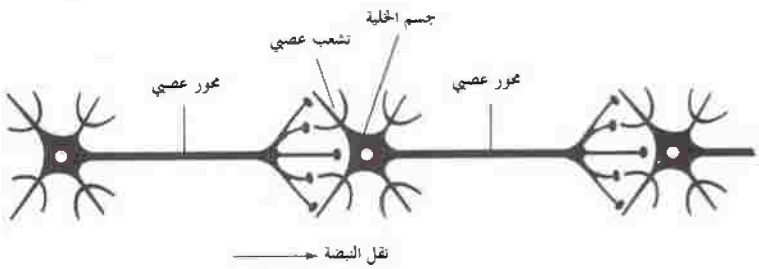
**ساق الدماغ:** يربط ساق الدماغ الحبل الشوكي مع مركز الدماغ تحت القشرة الدماغية مباشرة: الأجزاء الرئيسية لساق الدماغ هي: (١) النخاع المستطيل، وهو المقطع السفلي من ساق الدماغ ويتضمن مراكز لتنظيم العمل الذي يؤديه القلب والمراكز الوعائية الحركية التي تتحكم بتوزيع الدم ومركز التنفس الذي يتحكم بتهوية الرئتين. (٢) جسر المخيخ، وهو موجود فوق النخاع المستطيل مباشرة ويبرز إلى حد ما أمام ساق الدماغ. (٣) الدماغ المتوسط، ويقع في الجزء العلوي من ساق الدماغ. (٤) سرير المخ، ويقع فوق وإلى الأمام قليلاً من الدماغ المتوسط، وفيه المهاد (التالاموس) الذي يعمل كمحطة تبديل للمسارات الحسية إلى المركز الحسي في القشرة الدماغية. ويقع في الجزء الأسفل من سرير المخ ما تحت المهاد (الهيبوتالاموس) الذي يوجد فيه مراكز حيوية عديدة لتنظيم درجة الحرارة والاستقلاب وتنظيم السوائل، كما يتضمن مراكز الشهية والعطش والنوم والدافع الجنسي، وهو ذو أهمية للمشاعر الذاتية والعواطف.

**الحبل الشوكي:** هو الامتداد السفلي للنخاع المستطيل في الدماغ إلى مستوى الفقرة القطنية الأولى. وهو مكوَّن من اسطوانة من النسيج العصبي بسماكة الخنصر تقريباً وبطول ٣٨ إلى ٤٥ سم. يتكون الحبل الشوكي من مادة بيضاء على السطح ورمادية في الداخل. تحتوي المادة البيضاء على ألياف عصبية تجري بين الحبل الشوكي والدماغ فقط. الحبل المحتوي على الألياف الحركية والحسية مسؤول عن الربط بين الدماغ والجسم وعن عمل

المنعكس. تتموضع في المادة الرمادية في الحبل الشوكي على شكل حرف H العصبونات التي تتحكم بكثير من المنعكسات مثل منعكس الركبة ومنعكس تفريغ المثانة. إن عمل المنعكس هو نتيجة لتنبيه الخلايا الحركية بمنبهات آتية من الأعصاب الحسية في النسج.

يتألف النظام العصبي المركزي من آلاف الملايين من الخلايا المتخصصة حوالي نصفها يسمى العصبونات وهي من الناحية الوظيفية ناشطة كناقلات إشارة، بينما النصف الثاني (الخلايا الداعمة أو المساندة) فيحافظ على ويغذي العصبونات. إن الخاصية الأساسية للعصبونات هي قدرتها على نقل إشارات كهربائية تسمى نبضات عصبية كاستجابة لتغيُّرٍ في بيئتها المحيطة (بكلمة أخرى: المنبهات). ويتحكم النظام العصبي المركزي بعضلات الجسم الإرادية وهو مسؤول عن جميع الحركات والأحاسيس.

إن الوحدة الوظيفية الأساسية في النظام العصبي هي العصبون. ويتألف عصبون نموذجي من جسم خلية وله عدة نتوءات أو فروع (الشكل رقم ١,٧). ويتغير حجم وتوزيع هذه الفروع بشكل كبير في مواقع مختلفة وفي خلايا بوظائف مختلفة، لكن النوعين الرئيسيين هما: المحور العصبي (أكسون) والتشعب العصبي (دندريت). تنقل التشعبات العصبية النبضات عادة باتجاه جسم الخلية بينما ينقل المحور العصبي النبضات بعيداً عن جسم الخلية.




**الشكل رقم (١,٧). بنية العصبون وظاهرة نقل النبضة.**

تشكل العصبونات شبكة بالغة التعقيد تربط جميع أجزاء الجسم. وفي الوقت الذي يكون فيه حجم الجسم المركزي للخلية العصبية هو نفس حجم الخلايا الأخرى، فإن الحجم الكلي لبنية العصبون يتغير من ميليمتر أو ما يقارب ذلك في الحبل الشوكي إلى أكثر من متر في الطول. فعلى سبيل المثال تبدأ المحاور العصبية لعضلة القدم في الجزء السفلي من الحبل الشوكي حيث مكان الخلايا العصبية ذات العلاقة.

إن النظام العصبي هو نظام التنظيم الأساسي للجسم، وأي عمليات مرضية فيه تقود غالباً إلى اضطرابات وظيفية خطيرة. وتختلف الأعراض (التناذرات) بشكل كبير تبعاً للجزء المتأثر من النظام العصبي بالتغيرات المرضية. وتشمل قياسات النظام العصبي تسجيل مخطط كهربية الدماغ EEG وكمون العمل الكهربائي للعضلات ومخطط

كهربية العضلات EMG وقياس سرعة النقل في الأعصاب الحركية وتسجيل كمون عمل الأعصاب الطرفية ومخطط كهربية الأعصاب ENG.

### (١,٢,٤) أنظمة أخرى Other Systems

هناك بعض الأنظمة الأخرى الوظيفية المهمة في الجسم مثل أنظمة الهضم والإخراج والتكاثر والنظام الكيميائي الحيوي الذي يقوم بأداء وظائف حيوية ضرورية لتنفيذ وظائف الجسم المختلفة. إن تغطية كل هذه الأنظمة وأنظمة أخرى تقع خارج مجال هذا الكتاب.

## (١,٣) مصادر الإشارات الحيوية الطبية
## Sources of Biomedical Signals

الإشارات الحيوية الطبية هي تلك الإشارات (ظواهر تحمل معلومات) التي تُستخدم بشكل أولي لاستخلاص معلومات عن النظام الحيوي (البيولوجي) تحت الفحص.

ويمكن لعملية استخلاص المعلومات أن تكون بسيطة كتحسس نبض شخص عند رسغه، أو معقدة كتحليل بنية الأنسجة الداخلية الطرية بجهاز أمواج فوق صوتية. وتنشأ الإشارات الحيوية الطبية من مصادر مختلفة (الشكل رقم ١,٨) مثل:

**الإشارات الكهربائية الحيوية (الكهروحيوية):** وهي فريدة بالنسبة للأنظمة الحيوية الطبية، وتنشأ عن الخلايا العصبية والعضلية. مصدرها الأساسي هو كمون غشاء الخلية الذي، وتحت شروط معينة، يمكن أن يستثار لتوليد كمون عمل. إن الحقل الكهربائي الناتج عن عمل خلايا كثيرة ينشئ الإشارة الكهروحيوية. الأمثلة الأكثر شيوعاً لهذه الإشارات هي إشارات مخطط كهربية القلب ECG ومخطط كهربية الدماغ EEG .

**الإشارات الصوتية الحيوية:** يقدم قياس الإشارات الصوتية الناشئة عن كثير من الظواهر الحيوية الطبية معلومات حول هذه الظواهر. من أمثلة هذه الإشارات جريان الدم في القلب وعبر صمامات القلب وجريان الهواء عبر مساري الهواء العلوية والسفلية وفي الرئتين اللتين تولدان إشارات صوتية مميزة.

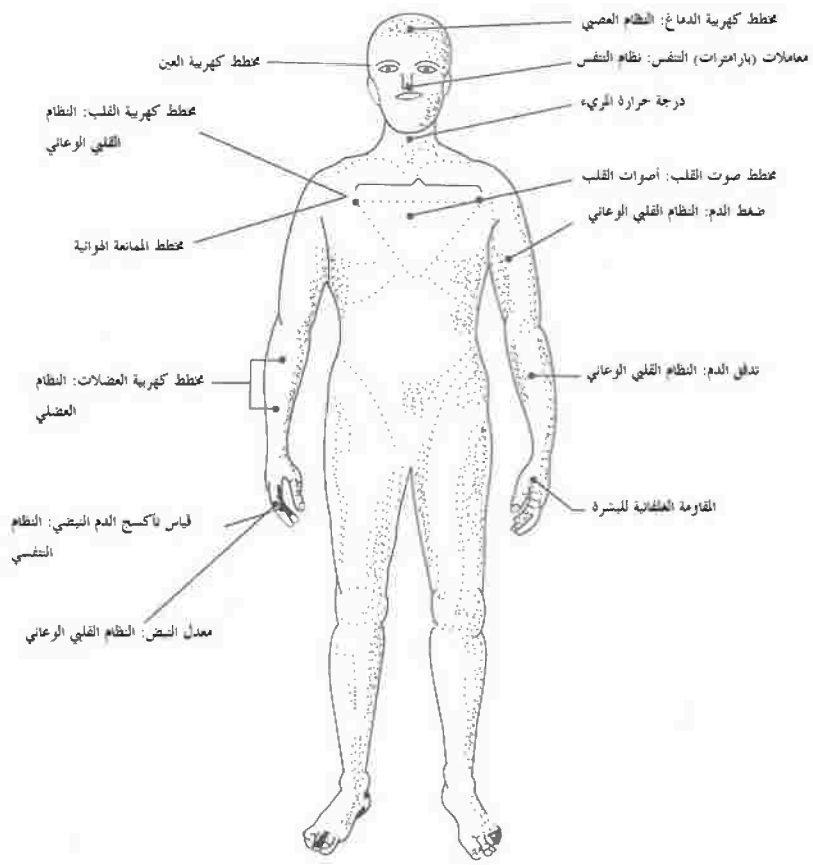
**الإشارات الميكانيكية الحيوية:** وهي إشارات تنشأ عن بعض الوظائف الميكانيكية للنظام الحيوي وتتضمن جميع أنواع إشارات الحركة والإزاحة والضغط والجريان ...الخ. حركة جدار الصدر تبعاً لعملية التنفس هي مثال لهذا النوع من الإشارات.

**الإشارات الكيميائية الحيوية:** هي إشارات يتم الحصول عليها كنتيجة لقياسات كيميائية من النسيج أو من عينات يتم تحليلها في المختبر. من أمثلة ذلك قياس الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون وللأكسجين وتركيز مختلف الأيونات في الدم.

**الإشارات المغناطيسية الحيوية:** هناك حقول مغناطيسية بالغة الضعف تنشأ عن أعضاء مختلفة كالدماغ والقلب والرئتين. إن قياس هذه الإشارات يوفر معلومات غير متاحة في أنواع أخرى من الإشارات الحيوية مثل الإشارات الكهروحيوية. المثال النموذجي للإشارات المغناطيسية الحيوية هو إشارة مخطط مغناطيسية الدماغ MEG.

**الإشارات البصرية الحيوية:** تنشأ هذه الإشارات كنتيجة للوظائف البصرية للأنظمة الحيوية التي تحدث إما بشكل طبيعي وإما مُحرَّض بعملية قياس. فعلى سبيل المثال يمكن تخمين مدى تأكسج الدم بقياس الضوء المرسل/المرتد متبعثراً من نسيج ما عند أطوال موجة مختلفة.

**إشارات الممانعة الحيوية:** إن ممانعة نسيج ما هي مصدر لمعلومات هامة فيم يتعلق بتركيبته وتوزع الدم وحجم الدم...الخ. إن قياس المقاومة الغلفانية للبشرة هي مثال نموذجي لهذا النوع من الإشارات. يمكن الحصول على إشارات ممانعة حيوية عن طريق حقن تيار جيبي في النسيج وقياس هبوط الجهد الناتج عن ممانعة النسيج. قياس معدل التنفس المبني على تقيات الممانعة الحيوية هو مثال لهذا النوع من الإشارات.




**الشكل رقم (١,٨). مصادر الإشارات الحيوية الطبية.**

## (١,٤) النظام الأساسي للتجهيزات الطبية
## Basic Medical Instrumentation System

إن الهدف الأساسي من التجهيزات الطبية هو قياس أو تحديد وجود بعض الكميات الفيزيائية التي يمكن بطريقة ما أن تساعد الكادر الطبي على القيام بتشخيص أفضل وعلاج أفضل. وتبعاً لذلك فإن أنواعا كثيرة من أنظمة التجهيزات تستخدم حالياً في المستشفيات والمرافق الطبية الأخرى. أغلبية التجهيزات أنظمة كهربائية أو إلكترونية بالرغم من أن هناك أنظمة ميكانيكية كأجهزة التنفس وقياس التنفس. ترتبط أغلب المفاهيم التي سيتم شرحها فيما بعد بالتجهيزات الطبية الإلكترونية لأن الأنظمة الإلكترونية المستخدمة في الممارسة الطبية هي السائدة من حيث العدد.

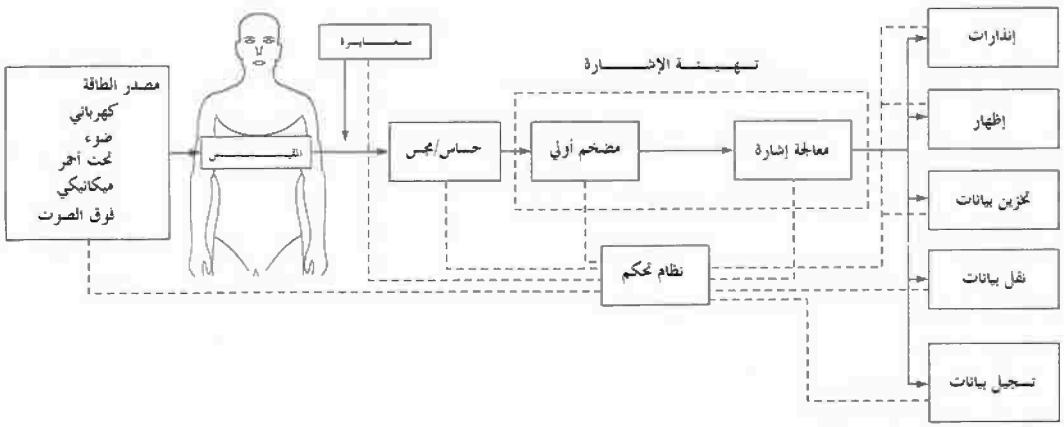
إن بعض الملامح المميزة المعروفة بالنسبة لأغلب أنظمة التجهيزات قابلة للتطبيق أيضاً على أنظمة التجهيزات الطبية. وبالمعنى الأكثر شمولاً فإن أي تجهيز طبي يتألف من المكونات الأساسية الأربعة التالية (الشكل رقم ١,٩):

**المقيس:** وهي الكمية أو الحالة الفيزيائية التي يقيسها نظام التجهيزات. مصدر المقيس هو حسم الإنسان الذي يولِّد أنواعاً مختلفة من الإشارات. ويمكن للمقيس أن يكون على سطح الجسم(كمون الـ ECG) أو ضغط دم في حجيرات القلب.

**المبدل (المجس)/ الحساس:** هو أداة تحول شكلاً من أشكال الطاقة إلى آخر. وبسبب الميزات المعروفة لأساليب القياس الكهربائية والإلكترونية فإن من الممارسات المعتادة أن يتم تحويل جميع الظواهر غير الكهربائية ذات العلاقة بالمقيس إلى كميات كهربائية بمساعدة مجس. فعلى سبيل المثال تحول بلورة كهروضغطية اهتزازات ميكانيكية إلى إشارة كهربائية وبالتالي فهي مجس. إن الوظيفة الأساسية لمجس هي تأمين خرج قابل للاستخدام كاستجابة لمقيس يمكن أن يكون كمية فيزيائية محددة أو خاصية أو حالة. وقد يُستخدم في الممارسة العملية مجسان أو أكثر في نفس الوقت لعمل قياسات لعدد من المعاملات الفيزيولوجية.

أما الحساس فمصطلح آخر يُستخدم في أنظمة التجهيزات الطبية. وبشكل أساسي فإن الحساس يحول مقيساً فيزيائيا إلى إشارة كهربائية. وينبغي أن يكون الحساس اجتياحياً بالحد الأدنى وأن يكون سطح التماس مع النظام الحي استلابياً للطاقة بالحد الأدنى.

**مهيئ الإشارة:** وهو يحول خرج المجس إلى كمية كهربائية مناسبة لعمل نظام الإظهار أو التسجيل. وقد تختلف مهيئات الإشارة في تعقيدها من أداة ملاءمة مكونة من شبكة مقاومة بسيطة أو ممانعة إلى مضخات متعددة المراحل ودارات إلكترونية معقدة. يشتمل تهييء الإشارة عادة على وظائف مثل التضخيم والترشيح (تماثلي ورقمي) وتحويل تماثلي رقمي ورقمي تماثلي أو دارة نقل إشارة. تساعد مهيئات الإشارة في زيادة حساسية التجهيزات بتضخيم الإشارة الأصلية أو شكلها المجسوس.




**الشكل رقم (١,٩). مخطط صندوقي عام لنظام تجهيزات طبية.**

**نظام الإظهار:** يوفر نظام الإظهار تمثيلاً مرئيا للكمية كإزاحة على تدريج أو على رسم بياني لمسجل أو على شاشة راسم مهبطي أو بشكل رقمي. وبالرغم من أن معظم المظهرات من الشكل المرئي إلا أن أشكالاً أخرى من المظهرات تُستخدم كالإشارات الصوتية من إشارات الإنذار أو الدوبلر الجنيني فوق الصوتي. وبالإضافة إلى ما ذكر أعلاه فإن الإشارة المعالَجة قد يتم تمريرها بعد التهيئة على:

*نظام إنذار:* بعتبات عليا وسفلى قابلة للضبط يعطي إشارة إذا ما تجاوز المقيس هذه الحدود.

*تخزين بيانات:* للمحافظة على البيانات للرجوع إليها مستقبلاً. وقد يكون هذا التخزين على نسخة ورقية أو على ذاكرات مغناطيسية أو شبه ناقلة.

*نقل المعلومات:* وذلك باستخدام توصيلات سطوح تماس قياسية (معيارية) بحيث يمكن نقل المعلومات التي يتم الحصول عليها إلى أجزاء أخرى من نظام متكامل أو لنقلها من موضع إلى آخر.

هناك في غالبية أنظمة التجهيزات ضرورة لشكل من أشكال المعايرة في فترات زمنية منتظمة أثناء تشغيلها. ويتم عادة تطبيق إشارة المعايرة على دخل الحساس أو في أبكر مرحلة ممكنة من سلسلة تهيئة الإشارة.

يتم في كثير من القياسات في المجال الطبي إعطاء شكل ما من المنبه أو الطاقة إلى المريض وقياس أثرها على المريض. هذا المنبه قد يكون بصرياً على شكل ومضة ضوء أو نغمة صوتية أو تنبيهاً كهربائياً مباشراً لجزء ما من النظام العصبي. إن تسجيل الاستجابة المستثارة بواسطة جهاز EEG عند إعطاء شخص تحت الاختبار منبهاً بصرياً/صوتياً مثال نموذجي على ذلك.

قد يكون مطلوباً في بعض الحالات أن يكون هناك تحكم آلي بالمجس أو المنبه أو الجزء من النظام الذي يهيئ الإشارة. يتم التوصل إلى ذلك باستخدام حلقة التغذية الراجعة التي يتم فيها تغذية مرحلة الدخل بجزء من خرج

تهيئة الإشارة أو أداة الإظهار رجوعاً. وقد يكون التحكم والتغذية الراجعة آليان وقد يكونان يدويان. وحالياً يتم التحكم بجميع أجهزة القياس والتسجيل تقريباً بواسطة معالجات صغرية (ميكروبروسيسورات) لأن ذلك يجعل من الممكن تصميم أجهزة تتطلب حداً أدنى من تدخل المستخدم وعملية المعايرة والضبط.

يمكن للقياسات على الجسم الإنساني أن تتم عند مستويات عدة من الأنظمة الوظيفية الرئيسية والفرعية. فعلى سبيل المثال إن عمل القياسات على الجسم الإنساني ككل هو الأكثر سهولة نظراً لسهولة الوصول. ومن أمثلة القياسات التي يتم عملها على الجسم الإنساني تسجيل الـ ECG وقياس درجة الحرارة. يمكن عمل المستوى التالي من القياسات على أنظمة وظيفية رئيسية في الجسم كالنظام القلبي الوعائي ونظام التنفس وهكذا. ويتواصل كثير من الأنظمة الرئيسية مع بعضه بعضاً ومع البيئة الخارجية أيضاً. يمكن تقسيم الأنظمة الوظيفية نزولاً إلى أنظمة فرعية وأعضاء ووحدات أصغر وصولاً إلى المستوى الخلوي والمستوى الجزيئي. ويتم عمل القياسات في المجال الطبي عند جميع هذه المستويات بأجهزة مصممة خصيصاً بدرجة مناسبة من التعقيد.

ويمكن تصنيف القياسات في المجال الطبي في نوعين: حية in-vivo ومخبرية in-vitro. تُجرى القياسات الحية على أو في العضو الحي نفسه مثل قياس الضغط في حجيرات القلب، أما القياسات المخبرية فتُجرى خارج الجسم. فعلى سبيل المثال يمثل قياس مستوى سكر الدم في عينة دم مسحوبة من مريض قياساً مخبرياً.

## (١,٥) متطلبات الأداء لأنظمة التجهيزات الطبية

## Performance Requirements of Medical Instrumentation Systems

غالباً ما تكون المعلومات التي يتم الحصول عليها من مجس / حساس على شكل شدة تيار أو مستوى جهد كهربائي أو تردد أو طور إشارة منسوباً إلى قيمة قياسية. قياسات الجهد هي الأسهل حيث يمكن تطبيق الإشارة التي يتم الحصول عليها من المجس مباشرة على مضخم له ممانعة دخل عالية. لكن غالبية المجسات تعطي إشارة على شكل تيار يمكن تحويله بسهولة إلى جهد باستخدام مضخمات عملياتية بتغذية راجعة مناسبة.

يتطلب القياس الدقيق للجهد أن تكون ممانعة دخل جهاز القياس كبيرة بالمقارنة مع ممانعة منبع الإشارة. وهذا من أجل التقليل من الخطأ الذي كان سيحدث فيما لو هبط جزء معتبر من منبع الإشارة عبر ممانعة المنبع وذلك إلى الحد الأدنى. وبالعكس فإن قياسا دقيقاً لإشارات منبع تيار يتطلب أن تكون ممانعة خرج المنبع كبيرة بالمقارنة مع ممانعة دخل المستقبل. وبشكل مثالي فإن مستقبلاً يعطي ممانعة دخل مساوية للصفر سوف لن يسبب أي تشويش لمنبع التيار. ولذلك فإن منابع التيار عالية الممانعة أسهل للتعامل معها من تلك ذات المقاومة المنخفضة.

إن الاستجابة الترددية لنظام ما ينبغي أن تكون بشكل عام متوافقة مع المجال التشغيلي للإشارة المقيسة. ومن أجل معالجة موجة إشارة من دون تشويه فإن حزمة تمرير النظام يجب أن تشمل جميع المكونات الترددية للإشارة

التي تساهم بشكل واضح في شدة الإشارة. ويمكن تحديد المجال بشكل كمي بالحصول على تحليل فورييه للإشارة. وتُعرَّف حزمة تمرير جهاز إلكتروني عادة بأنها المجال بين الترددين العلوي والسفلي لنصف الاستطاعة.

تترافق الإشارات الكهربائية دائماً مع مكونات ليس لها علاقة بالظاهرة المدروسة. هذه المكونات الزائفة لإشارة والتي يمكن أن تحدث عند أي تردد ضمن حزمة تمرير النظام معروفة كضجيج. وتُصمم الأجهزة بحيث يكون الضجيج في حده الأدنى تسهيلاً لقياس دقيق وحساس. ومن أجل استخلاص معلومات من إشارة ذات ضجيج فإن من الجوهري أن يتم رفع نسبة الإشارة إلى الضجيج ، وهذا ما تم من أجله وضع عدة تطبيقات موضع التطبيق. وإن أبسط طريقة لذلك هي تضييق عرض الحزمة علماً أن هناك طرقاً معقدة كثيرة قد تم تطويرها للتوصل إلى إنقاص الضجيج من إشارات حيوية طبية ذات ضجيج.

إن التقدم الحالي في التكنولوجيا الرقمية سواء في الأدوات أو في البرمجيات يجعل المعالجة الرقمية أكثر فعالية ومرونة من المعالجة التماثلية. وتملك التقنيات الرقمية عدة ميزات. فأداؤها قوي لأن بمقدورها حتى أن تنفذ خوارزميات معقدة بسهولة. ولا يتأثر أداؤها بمتغيرات غير قابلة للتنبؤ كتقادم المكونات ودرجة الحرارة والتي بمقدورها عادة جعل أداء الأجهزة التماثلية أسوأ. يضاف إلى ذلك أن معاملات (بارامترات) التصميم يمكن تغييرها بسهولة أكثر لأن لها علاقة بتعديلات برمجية أكثر منها أداتية (هارد وير).

يتم إظهار نتائج القياس في التجهيزات الطبية عادة إما على مقاييس تماثلية وإما مظهرات رقمية. تقدم المظهرات الرقمية قيم الكميات المقيسة بشكل رقمي. إن الأجهزة التي تتمتع بهذه الإمكانية قابلة للقراءة بشكل مباشر ، وأي تغيرات صغيرة في المعامل المقيس تكون قابلة للرؤية بسهولة في مثل هذه المظهرات بالمقارنة مع مثيلاتها التماثلية. وبسبب وضوحيتها العالية ودقتها ومتانتها ruggedness فإن المظهرات الرقمية تُفضَّل على المقاييس التماثلية التقليدية ذات المؤشرات والوشائع المتحركة. وهناك أنواع مختلفة من الأجهزة متاحة من أجل الإظهار الرقمي.

تُستخدم الديودات الباعثة للضوء LED في مظهرات صغيرة الحجم ذات سبع مقاطع. وهذه الديودات نصف الناقلة مصنوعة من فوسفيد زرنيخ الغاليوم وهي متوافقة مباشرة مع تغذية بـ ٥ فولت موجودة عادة في الدارة الرقمية. الديودات الباعثة للضوء ذات بنية قوية جداً وتستطيع أن تتحمل تغيرات كبيرة في درجة الحرارة وهي متاحة بالألوان الأصفر والأخضر والأحمر الغامق.

حالياً تُفضَّل المظهرات ذات البلورات السائلة LCD كأجهزة عرض ؛ لأنها تتطلب تياراً صغيراً جداً من أجل تشغيلها. إن شاشات العرض بالبلورات السائلة ذات القياس الكبير وإمكانية إظهار كامل الألوان متاحة تجاريا وتجد تطبيقات واسعة وتفضيلية في الحواسيب المحمولة والكثير من الأجهزة الطبية المحمولة.

ولأن الحواسيب باتت تستخدم بشكل متزايد للتحكم بالأجهزة الطبية وكحد تماس (أو تمفصل) بين الإنسان والآلة فإن هناك ظهوراً متنامياً لشاشات ملونة ذات وضوحية عالية لإظهار مسار علامات حيوية ذات علاقة

بمتغيرات فيزيولوجية أو قيم فحوص مخبرية أو ضبط آلات أو نتائج طرق معالجة للصورة كالتصوير المقطعي بالرنين المغناطيسي MRI. لقد تم إحلال المظهرات التماثلية والرقمية إلى حد كبير بوحدات إظهار فيديو تقدم المعلومات ليس كقائمة أرقام فقط وإنما كرموز ورسوم أيضاً وأحياناً بشكل ثلاثي الأبعاد وملون. تكون وحدات الإظهار البصرية عادة أحادية اللون حيث أن شاشات CRT في هذه الوحدات تكون مغطاة بفوسفورات إما خضراء أو بيضاء. وتستخدم وحدات الإظهار الفيديوية الملونة في تطبيقات مثل أنظمة مراقبة المريض وتصوير صدى القلب الدوبلري الملون.

لوحة المفاتيح هي الجهاز الأكثر شيوعاً والموصول إلى جميع أشكال طلب البيانات تقريباً وإلى وظائف المعالجة والتحكم في الأجهزة الطبية. ويمكن للوحة المفاتيح أن تكون ببساطة منصة رقمية مع مفاتيح وظيفية كما في الآلات الحاسبة، أو يمكن أن تكون لوحة مفاتيح أبجدية رقمية كاملة كما في الآلات الكاتبة مع مجموعة مشاركة من مفاتيح التحكم ملائمة لجهاز إدخال بيانات حاسوب. لغالبية لوحات المفاتيح المتاحة مفاتيح وحيدة التلامس متبوعة بمرمِّز لتحويل انغلاق المفاتيح إلى كود ASCII (الكود الأمريكي القياسي لتبادل المعلومات) من أجل التواصل مع المعالج الصغري.

## (١,٦) الأنظمة الذكية للتجهيزات الطبية
## Intelligent Medical Instrumentation Systems

تنتشر التكنولوجيا الذكية في كل مجال في المجتمع الحديث من الاتصالات بالأقمار الصناعية إلى الغسالات، ومجال الأجهزة الطبية ليس استثناءً من هذا الواقع. وفي حالة الأجهزة الطبية فإن الغاية من الأجهزة الذكية هو ضمان نوعية عالية للحياة بتوفير رعاية صحية فضلى في الرعاية المنزلية وحالات الطوارئ والتشخيص والعمليات الجراحية والتنويم في المستشفى. إن الطب اليوم محاط بشكل متنامٍ بإشارات وصور مأخوذة من الجسم الإنساني وبنماذج معقدة للأنظمة الفيزيولوجية وبالعُدَد للأجهزة والإجراءات العلاجية. إن مراقبة متنبهة لهذه العملية توضح أن هناك ازدحاماً في أنشطة اتخاذ القرار لدى الكادر الطبي. ولحل هذه المعضلة فإن طريقة ما لمكاملة جميع معلومات المريض في شكل مختصر وقابل للتفسير تعتبر ضرورية. وإن وجود معالجات ومتحكمات صغرية وحواسيب شخصية عالية الأداء قد وضع أدوات قوية في أيدي أصحاب المهن الطبية توفر لهم مراقبة وإدارة للمرضى فعالة وذكية.

### (١,٦,١) استخدام المعالجات الصغرية في الأجهزة الطبية
### Use of Microprocessors in Medical Instruments

لقد نضج تطبيق المعالجات الصغرية في التجهيزات الطبية على مراحل. في المرحلة الأولى حلت المعالجات الصغرية ببساطة محل الأنظمة الإلكترونية التقليدية الموصلة سلكياً والتي كانت تستخدم لمعالجة البيانات. وهذا ما نتج عنه بيانات أسرع وأكثر موثوقية. ثم تبع ذلك مباشرة استخدام المعالج الصغري للتحكم بالتتابعات المنطقية

المطلوبة في التجهيزات. وهكذا حلَّ المعالج الصغري محل أجهزة البرمجة كما حلَّ محل البرمجة اليدوية جاعلاً التحكم الرقمي بجميع وظائف الأجهزة الطبية ممكناً. ومع توفر معالجات صغرية أقوى وسعات تخزين بيانات أكبر أصبح من الممكن تحسين شروط القياس.

لقد تم استخدام المعالجات الصغرية بشكل واسع في الأجهزة الطبية المصممة للقيام بقياسات سريرية روتينية وخصوصاً في الحالات التي يمكن أن يعتبر فيها حساب البيانات ومعالجتها جزءاً من عملية القياس والتشخيص. إن تضمين معالجات صغرية داخل الأجهزة يمكِّنها من أن يكون لديها مقداراً معيناً من الذكاء أو المقدرة على اتخاذ القرار. إن المقدرة على اتخاذ القرار تزيد من درجة أتمتة الجهاز وتقلل من تعقيدات واجهة التماس بين الإنسان والآلة. ولقد صُممت أنظمة داعمة للحياة بإمكانيات عديدة داعمة للسلامة وللتشخيص والإصلاح الذاتيين.

كما تم تحسين موثوقية العديد من المجسات والكثير من القياسات تعمل الآن بشكل غير اجتياحي نتيجة للقدرة الحاسوبية المضافة للمعالجات الصغرية. إن القدرة الحاسوبية تجعل أموراً مثل المعايرة الآلية وتوجيه المشغِّل وإظهار النزعة (أو الميل) وأولوية الإنذار والاحتفاظ الآلي بسجلات أموراً ممكنة. ولقد تم شرح استخدام المعالجات الصغرية في أجهزة وأنظمة عديدة في مواقع مختلفة من هذا الكتاب.

لقد استخدمت المعالجات الصغرية لتحل محل إجراءات تشغيلية معقدة مطلوبة الآن في العديد من الأجهزة الطبية. إن بإمكان التجهيز المبني على المعالج الصغري أن يتضمن المقدرة على عمل محاكاة ذكية وتوفير إشارات تشخيصية في حالة الأخطاء الكامنة وتقديم تحذيرات أو حتى عمل تصحيحات مناسبة. وحالياً تساعد المعالجات الصغرية في صيانة الأجهزة المبنية على التوجيهات. وهذا ممكن عن طريق تضمين دارات مراقبة تؤمن معلومات تشخيصية قيمة حول أنماط أخطاء كامنة وتوجه المشغِّل في تصحيحها. إن برامج المعالج الصغري التشخيصية للجهاز تتحسس مثل هذه الأخطاء الكامنة للوحدة وتعطي المعلومات للمشغِّل لإزالة وصيانة الجزء المتعطل بينما تستمر أعمال لقياس دون انقطاع.

### (١,٦,٢) المعالج الصغري The Microprocessor

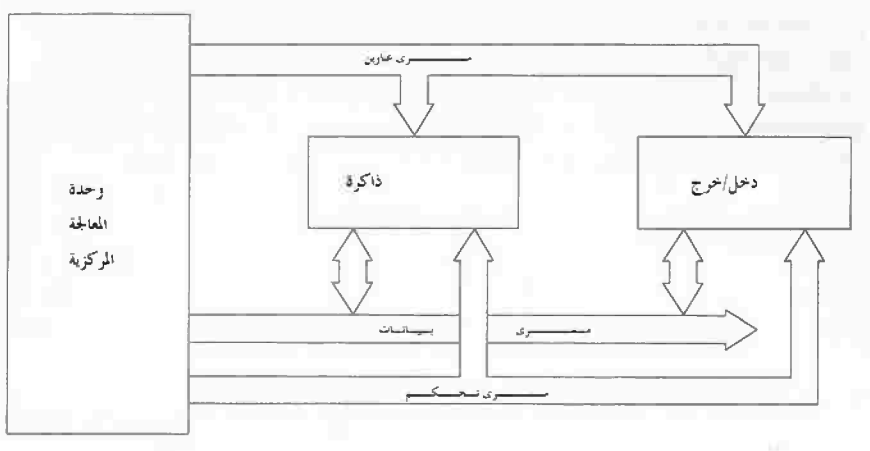
يتألف المعالج الصغري في الجوهر من عناصر دارات أساسية مثل الترانزستورات والمقاومات والديودات والتي تشكل مشتركة العناصر المنطقية الأساسية (البوابات)، وتحديداً "و" و "أو" و "عاكس". ومن ناحية المبدأ فإن التشغيل الكامل للمعالج الصغري يمكن وصفه بأنه اتحاد هذه العناصر. ويتم تشكيل دارات أكثر تعقيداً كالقلابات (فليب فلوب) والعدادات والمسجلات ووحدات المنطق الحسابي من هذه البوابات ومنها يتكون كامل المعالج الصغري. إن المعالج الصغري دارة تكاملية وحيدة بأربعين أو أربع وستين أو حتى أكثر من إبر التوصيل.

وتُصنَّف المعالجات الصغرية عادة تبعاً لطول كلمتها. ويحدد طول كلمة معالج صغري ما دقة التمييز الأساسية والمقدرة على عنونة الذاكرة. فعلى سبيل المثال سيقوم معالج صغري ذو ثمانية خانات ثنائية (بت) بجميع الحسابات على الأعداد الثنائية ذات الثمانية أرقام. تعطي ثمانية أرقام ثنائية عدداً عشرياً ما بين الصفر و٢٥٥.

إن ميزة المعالج الصغري الأكثر قوة هي سرعته التشغيلية الضخمة. وهذا ممكن لأنه يستطيع تخزين جميع التعليمات والبيانات الضرورية في الذاكرة إلى حين طلبها. والذاكرة التي هي عادة خارجية تخدم كمكان لتخزين التعليمات التي تقوم بتوجيه نشاطات وحدة المعالجة المركزية CPU والبيانات التي تتم معالجتها في هذه الوحدة (الشكل رقم ١,١٠). إن الذاكرة مرتبة على شكلين:

١- ذاكرة للقراءة فقط ROM للإبقاء على برنامج التعليمات بالشكل الرقمي الثنائي، ولا يمكن تغيير محتويات هذه الذاكرة بتوظيف نظام المعالج الصغري.

٢- ذاكرة الوصول العشوائي RAM للإبقاء على النتائج والبيانات المتغيرة من أجل عمل الحسابات وتذكر النزعات وتجميع المعلومات من أجل أجهزة الإظهار.




**الشكل رقم (١,١٠). مخطط صندوقي للمعالج الصغري.**

إن الكثير من مواقع العناوين في نظام نموذجي هي عبارة عن مواقع تخزين في الذاكرة. وعندما تتم العنونة إلى موقع ذاكرة فإن الذاكرة قد تخزن المعلومات الكامنة في مسرى البيانات وهذا ما يسمى الكتابة في الذاكرة. أما عنونة المعلومات المخزنة ليتم وضعها على مسرى البيانات للاستخدام من قبل وحدة المعالجة المركزية فيسمى القراءة من الذاكرة.

يستطيع المعالج الصغري أن يصل إلى أية بيانات مخزنة في ذاكرة، ولكن في الغالب لا تكون الذاكرة كبيرة بما فيه الكفاية لتخزين كامل بنك البيانات من أجل تطبيق محدد. يمكن حل هذه المشكلة باستخدام جهاز تخزين خارجي مثل قرص مرن أو نظام قرص صلب. ويتطلب المعالج الصغري منافذ دخل / خرج يستطيع من خلالها التواصل وإيصال نتائجه للعالم الخارجي كشاشة إظهار أو جهاز طرفي، أو إيصال إشارات تحكم يمكن أن توجه نظاماً آخر.

ولأن أنظمة المعالج الصغري مبنية على نظام الترقيم الثنائي فإن من الضروري استخدام توصيلات تعددية (بشكل عام ٨ أو ١٦ أو ٣٢) بين الدارات التكاملية. ويُشار إلى هذه التوصيلات البينية عادة كمساري (نواقل/خطوط توزيع)، وهناك ثلاثة أنواع من هذه المساري:

**مسرى بيانات:** وهو مسرى ثنائي الاتجاه تستطيع البيانات أن تسري فيه ما بين وحدة المعالجة المركزية والذاكرة أو الدخل / الخرج، ويحمل البيانات الفعلية الجاري معالجتها.

**مسرى عناوين:** وهو مجموعة خطوط أحادية الاتجاه تحدد موقع ذاكرة معيناً أو جهاز دخل / خرج.

**مسرى تحكم:** وهو يحمل جميع إشارات التحكم والتوقيت. وهذه مجموعة من الإشارات أحادية الاتجاه تشير إلى نوع النشاط في العملية الجارية. ويمكن لأنواع النشاطات أن تكون قراءة من الذاكرة وكتابة في الذاكرة وقراءة دخل / خرج وكتابة دخل / خرج وإشعار بالانقطاع.

تتم المحافظة على عمل المعالج الصغري وعلى مواقتة النشاطات المختلفة التي تحت تحكمه بواسطة ساعة أو هزاز ذي تحكم بلوري بتردد ثابت عادة وعموماً أكبر من (٥) ميغاهرتز.

إن القلب من نظام مبني على معالج صغري هو وحدة المعالجة المركزية. وهذه تتطلب تعليمات معدَّة من قبل المبرمج وتطلب بيانات وتقوم باتخاذ القرارات ذات العلاقة بالتعليمات. وبناءً على البيانات فإن المعالج يحدد الأعمال المناسبة التي يجب القيام بها من قبل أجزاء أخرى من النظام. ولما كان هناك نهايات طرفية عديدة مشاركة مع النظام المعطى فإن على المعالج الصغري أن يكون قادراً على انتقاء جهاز محدد. وهو يحدد كل جهاز بواسطة شيفرة (ترميز) عنونة فريدة. ويمتلك معالج صغري نموذجي ١٦ خط عنونة توفر ٦٥٦٣٦شيفرة عنونة. ويتم حمل البيانات من وإلى المعالج عبر مسرى بعرض ٨ أو ١٦ خانة ثنائية (بت). توفر معالجات كثيرة ممرات بيانات تسلسلية، وتستخدم معالجات عديدة مساري عناوين / بيانات مضاعفة يتم عليها نقل العناوين والبيانات على نفس ممرات الإشارة. وفي هذه الحالة فإن الجزء الأول من دورة المسرى ينقل العنوان بينما يحدث نقل البيانات لاحقاً في الدورة. هذه الهيكلية رائجة في المعالجات الصغرية التي لها مسرى بيانات ذو ٨ خانات ثنائية.

إن مجموعة واجهات الدخل / الخرج رابط آخر مهم في النظام. تتضمن هذه الواجهات جميع قنوات المعلومات بين النظام والعالم الحقيقي. وهناك منافذ رقمية يمكن من خلالها تحميل برامج وأوامر تحكم ومنها يمكن نقل بيانات رقمية إلى نهايات طرفية كلوحة المفاتيح والطابعات ومحرك الأقراص ...الخ.

تمكن لغة التأويل (أسمبلي) المعالج الصغري من استخلاص الأداء الأكبر لزمن التنفيذ؛ لأنها تقدم معالجة مباشرة لهيكلية المعالج، إلا أنها أيضاً اللغة الأكثر صعوبة لكتابة البرامج وتقع لذلك بعيداً عن خط اللغة الأفضل.

أما لغة سي C التي تستخدم لتطوير الإصدارات الحديثة من برنامج التشغيل يونيكس فإنها توفر تحسيناً واضحاً بالنسبة للغة أسمبلي لتنفيذ معظم التطبيقات، وهي لغة الاختيار للبرمجة في الزمن الحقيقي. إنها حل وسط

ممتاز بين لغة أسمبلي ذات المستوى المنخفض ولغة ذات مستوى مرتفع ، كما أنها معيارية وذات هيكلية. إن لغة سي مبنية على وظائف يمكن تطويرها بشكل مستقل عن بعضها ثم وضعها معاً لتنفيذ تطبيق ما. إن برامج سي قابلة للنقل بمعنى أنها مصممة بحيث أن برنامجاً تم تطويره بلغة سي لنوع من المعالجات يمكن نقله إلى آخر بسهولة نسبياً.

### (١,٦,٣) المتحكمات الصغرية The Microcontrollers

يتضمن المتحكم الصغري مايلي على رزمة دارة تكاملية وحيدة: وحدة معالجة مركزية ودارة توقيت وذاكرة قراءة فقط وذاكرة وصول عشوائي ودارة دخل / خرج. ولذلك فإن المتحكم الصغري جهاز قائم بذاته لا يتطلب أي مستضيف من رقائق الدعم المشاركة من أجل تشغيله كما هو الحال بالنسبة للمعالجات الصغرية التقليدية. وتقدم المتحكمات الصغرية عدة ميزات تفضيلية على الأنظمة التقليدية متعددة الرقائق. فهناك ميزة الكلفة والحيز من حيث أن التكاليف الإضافية للرقائق ولوحات الدارات المطبوعة والموصلات والمطلوبة كلها لدعم الأنظمة متعددة الرقائق لا وجود لها هنا. وتتضمن الميزات الأخرى صيانة أرخص ومجهود لتصميم القسم غير البرمجي (هاردوير) أقل وكثافة لوحات أقل ، وهذه كلها ذات أهمية في الأجهزة الطبية المحمولة.

لقد وُصفت المتحكمات الصغرية تقليدياً بأنها منتجات منخفضة التكاليف تُنتَج بكميات كبيرة وتتطلب متحكم حاسوب رخيصاً وبسيطاً نسبياً. إن معاملات تحسين التصميم تتطلب اعتباراً نبيها لاستغلال النواحي البنيوية ولعوامل تصميم الذاكرة ولحجم التعليمات ولتقنيات عنونة الذاكرة ولمقيِّدات تصميم أخرى تخص المساحة والأداء. لقد تطور الأداء الوظيفي للمتحكمات الصغرية بشكل كبير في السنوات الأخيرة. فمن الممكن اليوم الحصول على متحكمات صغرية قائمة بذاتها من أجل تطبيقات في نظام اكتساب البيانات والتحكم بها. فهي تملك محولا تماثلياً رقمياً على رقاقة (تشيب) يسمح بالاستخدام المباشر في التجهيزات. ويملك نوع آخر من المتحكمات الصغرية متحكم اتصالات على رقاقة مصمم لتطبيقات تتطلب ذكاء محلياً في عقد بعيدة ومقدرة اتصالية بين هذه العقد الموزعة. هناك إصدارات متقدمة من المتحكمات الصغرية بتشكيلة ١٦ خانة ثنائية (بت) تم وضعها موضع الاستعمال من أجل متطلبات أداء عالية وخصوصاً في تطبيقات يكون مطلوباً فيها قدرات حسابية جيدة.

### (١,٦,٤) توصيل الإشارات التماثلية إلى المعالجات الصغرية

**Interfacing Analog Signals to Microprocessor**

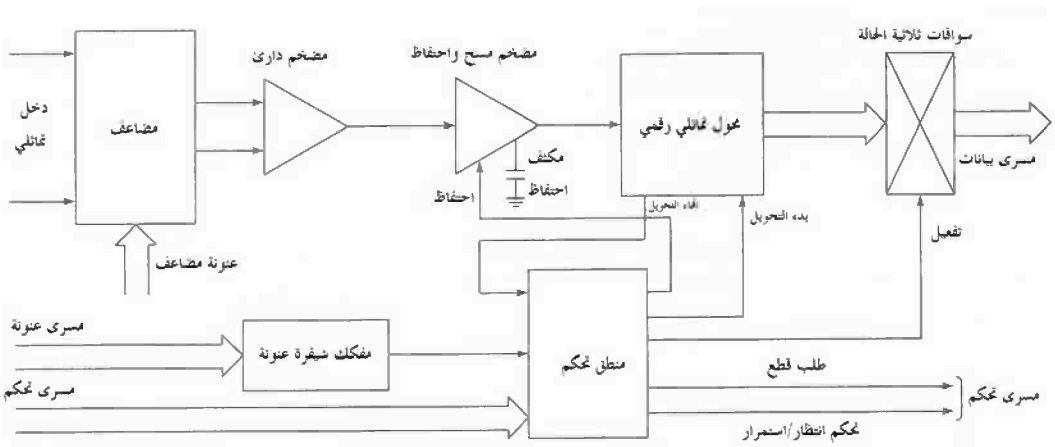
من المعروف أننا نعيش في عالم تماثلي. وفعلياً فإن جميع المعلومات التي نحاج إلى الحصول عليها من جسم الإنسان وربما إلى تحليلها هي في الواقع تماثلية بمعنى أن الإشارات تتألف من أشكال موجات كثيرة تتغير باستمرار كتابع للزمن. ومن أمثلة ذلك إشارات الـ ECG والضغط وموجات النبض.

يُستفاد من نوع من نظام الحصول على المعلومات من أجل إيصال الإشارات التماثلية إلى المعالج الصغري/الحاسوب الصغري. إن وظيفة هذا النظام هي الحصول على البيانات وتحويلها إلى الشكل الرقمي ، وغالباً ما يكون ذلك من بيئة سريرية معادية ، وأن يتم ذلك من دون تخفيض في وضوحية أو دقة الإشارة. ولما كانت

تكاليف البرمجيات تتجاوز إلى حد كبير تكاليف الأقسام غير البرمجية فإن هيكلية الواجهة التماثلية/الرقمية يجب أن تسمح للبرمجيات بأن تقوم بنقلات فعالة للبيانات والأوامر وإشارات الحالة وذلك من أجل الاستفادة من الاستطاعة الكاملة للمعالج الصغري.

وبشكل عام فإن نظام الواجهة التماثلية يتعامل مع إشارات على شكل جهود كهربائية ؛ لأن المعاملات الفيزيائية كدرجة الحرارة والتدفق والضغط ...الخ يتم تحويلها إلى جهود كهربائية بواسطة مجسات. وعليه فإن اختيار وانتقاء المجسات المناسبة مهم جداً لأن البيانات تكون دقيقة بقدر ما تكون المجسات.

يوضح الشكل رقم (١,١١) مخططاً صندوقياً لدارة واجهة عامة من أجل إيصال إشارات تماثلية إلى معالجات صغرية. تتكون هذه الواجهة بشكل أساسي من مضاعف ومضخم دارئ ودارة مسح (أخذ عينة) واحتفاظ ومحول تماثلي رقمي وسواقات ثلاثية الحالة ومنطق تحكم. وتعمل هذه المكونات تحت تحكم منطق الواجهة الذي يحافظ بشكل آلي على الترتيب الصحيح للأحداث.




**الشكل رقم (١,١١). توصيل الإشارات التماثلية إلى المعالجات الصغرية.**

**المضاعف:** وظيفة المضاعف هي أن ينتقي تحت تحكم العنونة قناة دخل تماثلي ويوصلها إلى المضخم الدارئ. عدد القنوات يكون عادة ٨ أو ١٦. واعتماداً على تشكيلة الدخل سيتعامل المضاعف إما مع إشارات وحيدة النهاية وإما تفاضلية.

يستطيع منطق العنونة في غالبية المضاعفات أن يقوم بالانتقاء العشوائي والتتابعي كليهما. يسمح النمط العشوائي بالنسبة لأنظمة الزمن الحقيقي للمضاعف بانتقاء أية قناة عندما يستجيب البرنامج لطلب جهاز طرفي. وكما يوحي به الاسم فإن انتقاء القناة التتابعي له علاقة بالتوجه إلى كل قناة بشكل تتابعي.

**المضخم الدارئ:** يقوم هذا المضخم بتهيئة إشارة الدخل المنتقاة لتصبح في مستوى ملائم لتطبيقها على المحول التماثلي الرقمي. ويوفر المضخم الدارئ (والذي هو عبارة عن مضخم قياس عادة) مقوداً من المضاعف ممانعة دارئة وربح إشارة ورفضاً للإشارات المتماثلة. فهو يملك ممانعة دخل مرتفعة من مئة ميغا أوم أو أكثر لتخفيف آثار أي تشويه للإشارة يسببه المضاعف. كما تقلل ممانعة الدخل المرتفعة الأخطاء أيضاً إلى أدنى حد، وذلك عائد إلى المقاومة المنتهية لمبدلات قنوات المضاعف.

يقوي المضخم إشارة الدخل من أجل تحسين حساسية النظام. وإذا كان مطلوباً الحصول على إشارات تماثلية ذات مجالات مختلفة موصولة إلى دخل المضاعف فإن مضخم ربح قابل للبرمجة سيكون أفضل حيث يتم ضبط الربح تبعاً لعنوان انتقاء المضاعف. يزيل استخدام المضخمات القابلة للبرمجة ضرورة تقييس مجالات الدخل التماثلي.

**دارة المسح والاحتفاظ:** يتطلب المحول التماثلي الرقمي زمناً منتهياً لعملية التحويل، وأثناء هذا الوقت يجب أن تبقى الإشارة عالقة طبقاً لمكوناتها الترددية. ولذلك فمن الضروري مسح مطال إشارة الدخل والاحتفاظ بالقيمة على دخل المحول التماثلي الرقمي أثناء عملية التحويل. تقوم دارة المسح والاحتفاظ بتجميد خرجها بناء على استقبال أمر من دارة التحكم. وبذلك تؤمن جهداً كهربائياً ثابتاً بشكل أساسي للمحول التماثلي الرقمي على مدى دورة التحويل.

إن المسح والاحتفاظ مهم بشكل أساسي في الأنظمة التي لها وضوحية من ١٢ خانة ثنائية أو أكثر، أو في التطبيقات التي تتغير فيها مداخيل الزمن الحقيقي بسرعة أثناء تحويل القيمة الممسوحة. ومن ناحية أخرى فإن المسح والاحتفاظ قد لا يكون مطلوباً في التطبيقات التي يكون فيها تغير الدخل بطيئاً بالمقارنة مع زمن التحويل.

**المحول التماثلي الرقمي:** يقوم بعملية التحويل من التماثلي إلى الرقمي. وهو عضو في عائلة أجهزة الفعل / الحالة التي لها خطا تحكم: خط بداية التحويل (أو خط دخل الفعل) وخط نهاية التحويل (أو خط خرج الحالة).

إن المحول التماثلي الرقمي عبارة عن دارة تكاملية وحيدة الرقاقة ذات توصيلة دخل وحيدة من أجل الإشارة التماثلية وإبر متعددة من أجل الخرج الرقمي. ويمكن أن يكون لها ٨ أو ١٢ أو ١٦ إبرة خرج أو حتى أكثر تمثل كل منها خانة خرج ثنائية. وكلما زاد عدد الخانات الثنائية كلما كانت دقة التحويل أعلى. تمثل كل خطوة تغيراً في الإشارة التماثلية، وبالتالي فإن ٨ خانات ثنائية تعطي ٢٥٦ خطوة و١٢ خانة تعطي ٤٠٩٦ خطوة، ونحصل على ٣٢٧٦٨ خطوة بـ ١٦ خانة ثنائية (بت).

المعاملات (البارامترات) المفتاحية في المحولات التماثلية / الرقمية هي:

- *الوضوحية* (أو دقة التمييز) لمحول تماثلي رقمي هي مقياس لعدد الترميز الرقمي المنفصل الذي يستطيع المحول أن يتعامل معه ويعبر عنه بعدد الخانات الثنائية (بت). فعلى سبيل المثال إن الوضوحية لمحول ذي ٨ خانات هي جزء واحد من ٢٥٦.

● *الدقة*، ويعبر عنها إما كنسبة مئوية من سلم قياس كامل أو، كبديل عن ذلك، بالخانات الثنائية للوضوحية. فعلى سبيل المثال يمكن أن يقال عن محول بأنه بدقة ١٢ بت إذا كان خطؤه هو جزء واحد من ٤٠٩٦. إن مصادر الخطأ التي تساهم في عدم دقة محول هي خطأ الخطية وخطأ الربح وخطأ الانزياح عن الصفر.

● *اللاخطية التكاملية*، وهي مقياس لانحراف تابع النقل عن خط مستقيم.

● *خطأ الانزياح عن الصفر*، وهو مقياس لاختلاف القيمة التماثلية عن الوضع المثالي عند ترميز كله أصفار.

● *خطأ الربح*، وهو يمثل الفرق في الميل لتابع النقل عن الوضع المثالي.

● *سرعة المحول التماثلي الرقمي*، ويعبَّر عنها عموماً كزمن التحويل لمحول بمعنى أنه الزمن الذي يمر بين تطبيق أمر تحويل ووجود البيانات عند مخارج المحول. وتقاس سرعة محول تماثلي رقمي عن طريق زمن استقراره من أجل تغير للدخل الرقمي على كامل التدريجات.

إن كلا من المعاملات المذكورة أعلاه يعتمد على درجة الحرارة ويتم تحديدها عادة من أجل درجة حرارة ٢٥ مئوية.

**السواقات ثلاثية الحالة:** وهي توفر العزل الضروري لبيانات خرج المحول التماثلي الرقمي عن مسرى بيانات المعالج الصغري وهي متاحة كوحدات ثمانية الخطوط. وبذلك فإنه من أجل محولات بـ ١٠ أو ١٢ بت سيلزم سواقتين اثنتين يتم تفعيلهما بعنواني قراءة مختلفين مشتقين من مفكك شيفرة العنونة.

بعض المحولات التماثلية الرقمية تحتوي على السواقات ثلاثية الحالة كجزء منها، إلا أنها، وبسبب محدودية مقدرتها السواقية، يمكن استخدامها فقط على المساري خفيفة الحمل. أما في الأنظمة ذات الأحمال الثقيلة، كما في المعالجات الصغرية، فإن السواقات المتضمنة تكون مُفَعَّلة بشكل دائم ويتم استخدام سواقات ثلاثية الحالة منفصلة من أجل عزل مسرى البيانات.

**منطق التحكم:** يوفر منطق التحكم الواجهة (حد الاتصال) اللازمة بين نظام المعالج الصغري وعناصر وحدة الاستحواذ بتأمين التحكم الزمني الضروري. وهو موجود ليضمن أن الإشارة التماثلية الصحيحة قد تم انتقاؤها ومسحها في الوقت الصحيح ولبدء عملية التحويل ولإرسال إشارات إلى المعالجات الصغرية عند انتهاء التحويل.

**واجهة الخرج:** يجب تحويل إشارات الخرج الرقمية غالباً إلى شكل تماثلي بحيث يمكن استخدامها والعمل عليها من قبل دارات خارجية كراسم الذبذبات (الأوسيلوسكوب) والمسجل الورقي ...الخ. ولذلك يتم استخدام محولات رقمية تماثلية لتحويل الإشارة من الشكل الرقمي إلى الشكل التماثلي. ويكون خرج المحول الرقمي التماثلي إما تياراً أو جهداً كهربائياً بينما تكون الإشارة عند الدخل ثنائية الخانة.

إن تشفير الدخل لمحول رقمي تماثلي مشابه لتشفير الخرج لمحول تماثلي رقمي، بينما المخارج على كامل التدريج تكون قابلة للانتقاء بواسطة وصلة عبور (جُسَير) من أجل صفر إلى ±١ و±٥ و±١٠ فولت. وتؤمن المحولات الرقمية التماثلية عموماً الخرج القياسي ٤ إلى ٢٠ ميلي أمبير ويمكن أن يمتد التحميل من ٥٠ وات إلى ٤ كيلو وات. إن المعاملات المهمة التي تحكم انتقاء محول تماثلي رقمي أو رقمي تماثلي هي: الوضوحية وتردد القياس وخصائص الدخل وخطأ الانزياح عن الصفر والضجيج وتوافقية المعالج الصغري والخطية ...الخ.

**(١,٦,٥) الأجهزة الطبية ذات الحاسوب الشخصي PC – Based Medical Instruments**

إنه مجال لنشاط تجاري شديد في حقل الحواسيب بسبب شعبية ما يسمى بالحواسيب الشخصية أو المنزلية. إن التكلفة المنخفضة والإمكانيات المتزايدة للحواسيب الشخصية تجعلها ذات شعبية في المجال الطبي. إن برمجيات الحواسيب الشخصية متاحة أيضاً بشكل كبير وبإمكان المستخدمين شراؤها واستخدامها بسهولة.

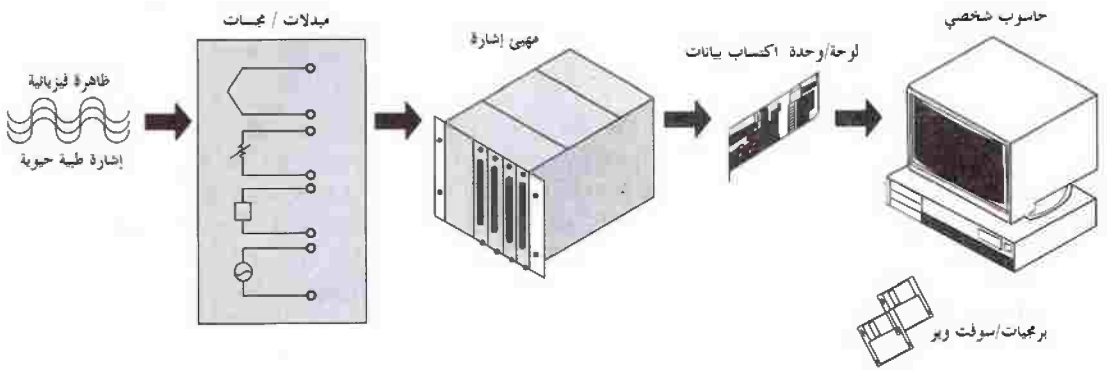
لقد توطدت الآن الحواسيب الشخصية جيدا ولاقت قبولاً واسعاً في المجال الطبي من أجل جمع البيانات والتعامل معها ومعالجتها وانبثقت كمحطات عمل كاملة للعديد من التطبيقات. لقد أصبح الحاسوب الشخصي محطة عمل بتركيب بسيط لجهاز أو أكثر على لوحة في شقوق الملحقات التابعة له وبتحميل برنامج السواقة الذي يأتي مع كل لوحة. لقد أثبت هذا التصميم كونه جهازاً مثالياً منخفض التكاليف وفي نفس الوقت منصة حاسوبية متعددة الجوانب من أجل التقاط وقياس وتحليل وعرض وتخزين البيانات المشتقة من مصادر متنوعة.

يوضح الشكل رقم (١,١٢) الترتيبة النموذجية لمحطة عمل تعتمد على حاسوب شخصي. ومن الواضح أن النظام ذو مرونة عالية وأن باستطاعته قبول أنواع مختلفة من الدخول يمكن توصيلها إلى حاسوب شخصي للتحليل والرسم والتحكم. إن العناصر الأساسية في هذا النظام تتضمن: (١) حساسات أو مجسات تحوِّل الظاهرة الفيزيائية إلى إشارة قابلة للقياس، (٢) نظام استحواذ بيانات (أداة قبس / لوحة استحواذ)، (٣) رزمة برمجيات استحواذ/تحليل ومنصة حاسوبية.

يعمل النظام بشكل كامل تحت التحكم البرمجي، ويمكن تشغيله إما من سواقة قرص مرن وإما قرص صلب. ويمكن إتمام التحميل أو عدم التحميل الدائم للملفات السواقة بسهولة. إلا أنه، ومن أجل تطبيقات معقدة، فقد يكون هناك حاجة للبرمجة بواحدة أو أكثر من لغات البرمجة ذات المستوى الأعلى مثل لغة سي. ويمكن تخزين البيانات التي يتم استقبالها من القياسات في ملف أو إخراجها إلى طابعة أو راسم أو جهاز آخر عن طريق أحد المنافذ على الحاسوب.

وتكتسب الأجهزة الطبية التي تستخدم حواسيب شخصية شعبية لعدد من الأسباب منها السعر وقابلية البرمجة ومواصفات الأداء المعروضة. ويسيطر في دورات تصميم المنتجات الجديدة، وبشكل متزايد، التطوير البرمجي أكثر من التطوير الأداتي. ولذلك فإن أحد الأسباب الأكثر شيوعاً لكون مصممي الأنظمة يختارون بشكل متزايد

حواسيب شخصية وهيكلية الحواسيب الشخصية هو مجموعة أدواتها البرمجية الغنية والاقتصادية . وهذا يتضمن أنظمة التشغيل وسواقات الأجهزة والمكتبات واللغات وأدوات التصحيح. ويمكن العثور على العديد من الأمثلة لأجهزة طبية تستخدم حواسيب شخصية في أماكن مختلفة من هذا الكتاب.




**الشكل رقم (١,١٢). ترتيبة نموذجية لجهاز طبي يستخدم حاسوباً شخصياً.**

## (١,٧) الضوابط العامة في تصميم أنظمة التجهيزات الطبية

**General Constraints in Design of Medical Instrumentation Systems**

تُستخدم الأجهزة الطبية بشكل أساسي من أجل عمل قياسات للمعاملات الفيزيولوجية للجسم الإنساني وفي بعض الأحيان يتم أيضاً تطبيق تنبيه أو نوع من الطاقة على جسم الإنسان من أجل التشخيص والعلاج. إن بعض العوامل المهمة التي تحدد التصميم لجهاز قياس طبي هي :

- مجال القياس : بشكل عام فإن مجالات القياس منخفضة بالمقارنة مع المعاملات غير الطبية. تقع غالبية الإشارات في مجال الميكرو فولت.
- مجال التردد : تقع غالبية الإشارات الحيوية الطبية في مجال الترددات الصوتية أو دون ذلك وكثير من الإشارات تتضمن مكونات تيار مستمر وترددات منخفضة جداً.

إن هذه الخصائص العامة للإشارات الفيزيولوجية تحد من الخيارات العملية المتاحة لمصممي الأجهزة الطبية. إضافة إلى ذلك هناك بعض الضوابط (أو المقيِّدات) التي تحتاج لأخذها بالاعتبار أثناء تصميم نظام قياس لتطبيقات طبية. من هذه الضوابط :

**عدم إمكانية الوصول إلى مصدر الإشارة :** إن أحد المشاكل الرئيسية في عمل قياسات على نظام حي هو صعوبة الوصول إلى مصدر المتغير الفيزيولوجي الذي يتم قياسه. فعلى سبيل المثال يتطلب قياس الضغط داخل

القحفي في الدماغ وضع حساس في الدماغ وهذه مهمة صعبة تماماً. وإلى جانب ذلك يضع حجم كثير من الحساسات قيداً على استخدامها في المنطقة ذات الاهتمام. إن من الواضح أنه يتوجب قياس مثل هذه المتغيرات الفيزيولوجية بشكل غير مباشر. إن المثال النموذجي لعمل قياس غير مباشر لضغط الدم في الشريان العضدي هو استخدام طريقة كوروتكوف المعتمدة على الرباط الضاغط. وفي مثل هذه الحالات يحتاج الأمر إلى تطبيق تصحيحات على البيانات التي قد تكون تأثرت بسبب عملية القياس غير المباشر.

**قابلية تغير المعاملات الفيزيولوجية:** نادراً ما تكون المتغيرات الفيزيولوجية ذات الاهتمام من أجل القياس عن جسم الإنسان ذات طبيعة تحديدية حيث أنها بشكل عام متغيرات زمنية. وبكلمات أخرى فإن كثيراً من القياسات الطبية يتغير بشكل واسع بين المرضى العاديين حتى عندما تكون الشروط أو الأحوال متشابهة. ولذلك فإنه يتوجب تمثيل المتغير الفيزيولوجي بنوع من تابع التوزيع التجريبي والإحصائي والاحتمالي.

هناك تغيرات تشريحية داخلية بين المرضى، ولذلك فإن قابلية التغير للمعاملات الفيزيولوجية من مريض إلى آخر أمر عادي. ولذلك تُستخدم أساليب إحصائية من أجل تحديد العلاقات بين المتغيرات.

**التداخل بين الأنظمة الفيزيولوجية:** يوجد كثير من حلقات التغذية الراجعة بين الأنظمة الفيزيولوجية وكثير من العلاقات ما بينها يساهم في قابلية التغير المتأصلة للإشارات الفيزيولوجية. وبكلمات أخرى فإن تنبيه جسم من نظام ما يؤثر عموماً على أجزاء أخرى من هذا النظام بطريقة أو بأخرى. وعلى عكس كثير من الأنظمة المعقدة غير الطبية فإن طبيعة النظام الفيزيولوجي هي بحيث أنه من الممكن إيقاف تشغيله وإزالة أجزاء منه أثناء عملية القياس لتجنب التداخل من إشارات فيزيولوجية غير مرغوب فيها.

**مشاكل اتصال المجسات:** تتأثر جميع أنظمة القياس بطريقة ما بوجود مجس القياس. وتتعقد المشكلة عند عمل قياس على النظام الحي حيث قد يغير الوجود المادي للمجس القراءة بشكل واضح. كما أن وجود مجس في أحد الأنظمة قد يؤثر على الاستجابات في أنظمة أخرى.

يجب أخذ الحيطة المناسبة عند تصميم نظام قياس من أجل ضمان أن يكون أثر تحميل المجس على مصدر المتغير المقيس في حده الأدنى.

**إمكانية كبيرة للتشويشات الصنعية:** يشير المصطلح "تشويش صنعي" إلى إشارة غير مرغوب فيها وخارجية بالنسبة للمتغير الفيزيولوجي الخاضع للقياس. من أمثلة التشويشات الصنعية: تداخلات الـ ٥٠ هرتز الكهربائية والتشويشات الراديوية والضجيج المولد ضمن جهاز القياس. إن حركة الشخص الخاضع للقياس مصدر رئيسي للتشويشات الصنعية في الأجهزة الطبية. كثير من المجسات حساس للحركة وينشأ بالتالي عن حركة الشخص الخاضع للقياس تولد إشارات زائفة قد تكون كبيرة بما فيه الكفاية لتحجب الإشارة ذات الاهتمام. إن حالة من هذا النوع تضع متطلباً صعباً على الجزء من نظام القياس الذي يهيئ الإشارة.

**المستويات الآمنة للطاقة المطبقة:** تتطلب جميع القياسات الحيوية الطبية تقريباً أن يُطبق شكل ما من أشكال الطاقة على النسيج الحي أو أن تُطبق طاقة ما كنتيجة عرضية لعمل المجس. فمثلاً تعتمد تقنية التصوير فوق الصوتي على تطبيق طاقة فوق صوتية خارجية على جسم الإنسان. إن تحديد مستويات آمنة لمختلف أنواع الطاقة على الأجسام البشرية أمر صعب. ومع ذلك فإن مصممي الأجهزة الطبية يعتمدون على عدد كبير من الدراسات التي تم إجراؤها من قبل عدد كبير من الباحثين والتي تحدد عتبة التأثيرات السيئة للطاقة المطبقة.

**اعتبارات سلامة المريض:** بطريقة أو بأخرى فإن الأجهزة الطبية لابد أن تكون موصلة فيزيائياً للمريض. وإذا ما حدث وكان الجهاز إلكترونياً أو كهربائياً فإن إمكانية خطر صدمة كهربائية تكون قوية جداً ما لم يتم اتخاذ إجراءات مناسبة في تصميم الجهاز. إضافة إلى ذلك فإن الجهاز يتم استخدامه من قبل كادر غير فني طبي وشبه طبي وسلامتهم يجب ضمانها أيضاً. لقد وضعت تنظيمات مختلفة على المستوي الوطني والعالمي توجيهات خاصة لتوفير سلامة وفعالية الأجهزة الطبية المعدة للاستخدام على الأجسام البشرية.

**مفهوم الموثوقية (الوثوقية/الاعتمادية):** إن إخفاق الأجهزة التي تنقذ الحياة (مثل مزيلات الرجفان) في العمل أو إعطاء الخرج المرغوب فيه قد يصبح تهديداً ممكناً للحياة بالنسبة للمريض. ولذلك فيجب أن تكون الأجهزة ذات موثوقية وسهلة التشغيل وقادرة على تحمل سوء الاستخدام المادي العائد إلى النقل ضمن المستشفى أو في سيارات الإسعاف والتعرض للمواد الكيميائية المسببة للتآكل.

**اعتبارات العامل الإنساني:** لقد استمرت في النمو، وكنتيجة للتعقيد المتزايد للأجهزة والأنظمة الطبية، الطلبات على الأطباء والكادر شبه الطبي المستخدمين للأجهزة. تتطلب الأجهزة قدراً كبيراً من تبادل المعلومات بين بعضها وبين المستخدم من أجل المراقبة والتحكم بالوظائف التقنية لنظام. وأكثر من ذلك فإن الكادر الطبي عموماً لديه قدر قليل فقط من الخبرة في التعامل مع نظام تقني معقد. وهناك دائما مخاطرة في انعدام قدرة الكادر على التحكم بالجهاز بالشكل الملائم من أجل كل مهمة. وعدم الملاءمة هذا يمكن أن يزيد من احتمالية الخطأ وأن يقلل من الجودة والموثوقية لإجراء سريري ما. وبالنتيجة فإن الأداء المقصود أو المرغوب فيه لكامل النظام قد لا يمكن الحصول عليه بسبب نقص في تفاعل الإنسان مع الآلة. ولذلك فإن مواضيع تصميم واجهة المستخدم تفرض أهميتها بشكل متزايد في حالة الأجهزة الطبية.

**الأنظمة الحكومية:** لم يكن هناك أثناء المراحل الأولى لتقديم التكنولوجيا ومجال واسع من الأجهزة التشخيصية والعلاجية في المجال الطبي أية رقابة حكومية على تصميمها واختبارها وبيعها. الحال يتغير بسرعة حيث توضع القوانين الحكومية لضمان أن تقوم الأجهزة بأداء الوظيفة المعدة لها وأن تكون آمنة في عملها وأداء وظيفتها. لذلك ينبغي على مصممي الأجهزة الطبية أن يكونوا على دراية بمثل هذه القوانين المتعلقة بمنتج أو نظام ما والتي تم وضعها من قبل الهيئات الوطنية والعالمية.

وهكذا فإن من الواضح أن هناك عوامل كثيرة تضع ضوابط وتقييدات على تصميم الأجهزة. وإضافة إلى هذه التقييدات هناك اعتبارات عامة تحتاج لأخذها بالاعتبار في التصميم الأولي وتطوير أي جهاز طبي. وهذه العوامل هي:

- *اعتبارات ذات علاقة بالإشارة:* وتتضمن نوع الحساس والحساسية والمجال وممانعة الدخل والاستجابة الترددية والدقة والخطية والموثوقية والدخل المطلق أو التفاضلي.

- *اعتبارات بيئية:* وتتضمن نسبة الإشارة إلى الضجيج والاستقرار بالنسبة لدرجة الحرارة والضغط والرطوبة والتسارع والصدمة والاهتزاز والإشعاع ...الخ.

- *اعتبارات طبية:* وتتضمن التقنية الاجتياحية أو غير الاجتياحية وعدم راحة المريض وهدر الإشعاع والحرارة والسلامة الكهربائية وسمية المادة ...الخ.

- *اعتبارات اقتصادية:* وتتضمن التكلفة الأولية ووجود المستهلكات والتوافق مع الأجهزة الموجودة.

من الواضح أن أي مشروع لجهاز طبي تجاري أمر بالغ التعقيد ويجب أن يأخذ بالاعتبار العديد من العوامل قبل البدء بالتصميم والتطوير. بالإضافة إلى ذلك فإن مشاركة ذوي مهن طبية متحمسين في فريق العمل الهندسي أمر أساسي لنجاح المشروع. وهذه المشاركة ليست مفيدة فقط أثناء عملية التطوير وإنما أيضاً للتجارب السريرية للمنتج الذي تم تطويره بهذا الشكل.

## (١,٨) تنظيم الأجهزة الطبية
## Regulation of Medical Devices

إن المطلوب من صناعة التجهيزات الطبية عموماً والمستشفيات خصوصاً أن تكون الصناعة الأكثر تنظيماً. وهذا لأنه عندما يتم عمل القياسات على البشر ومن قبل البشر فإن الجهاز لا ينبغي فقط أن يكون آمناً لتشغيله وإنما يجب أيضاً أن يعطي الأداء المقصود منه بحيث يتم تشخيص وعلاج المرضى بالشكل الصحيح. كما أنه لابد من تطوير إجراءات مناسبة بحيث لا يتعرض مستخدمو الأجهزة الطبية إلى قضايا قانونية وأخلاقية في ممارستهم لأنهم يتعاملون مع صحة الناس التي قد تكون أحياناً حيوية كمسألة الحياة والموت. وللحد من هذا النوع من المشاكل إلى أدنى حد فقد قامت بلدان عديدة بوضع عدد كبير من القوانين (كودات) والمواصفات القياسية والتنظيمات لأنواع مختلفة من الأجهزة والمرافق. وإن فهم المهندسين لأهميتها وانتباههم إلى القضايا التي تسببها الحقائق التكنولوجية والاقتصادية أمر أساسي.

**التنظيم:** إن التنظيم هو طريقة لمنظمة ما في تحديد أن مواصفة قياسية ما واجب الالتزام بها. وهذه التنظيمات هي قواعد تعلنها الحكومة.

**المواصفات القياسية:** إن المواصفة القياسية هي اتفاق بين عدة جهات من أجل وضع معيار تحكمي كمرجع. وبشكل آخر فإن المواصفة القياسية مجموعة مفروضة من القواعد أو الشروط ذات العلاقة بتعريف المصطلحات

وتصنيف المكونات وتوصيف الإجراءات ومواصفات المواد والأداء والتصميم والتشغيل وقياس الجودة والجودة في وصف المواد أو المنتجات أو الأنظمة أو الخدمات أو الممارسة. هناك مواصفات قياسية تُعنى بالأنظمة (حماية نظام توزيع الطاقة الكهربائية من الأعطال) وبالأفراد (إجراءات للتقليل من الأخطار الكامنة للصدمة الكهربائية) وبحماية البيئة (التخلص من النفايات الطبية).

**القوانين (الكودات):** هو نظام من المبادئ أو التنظيمات أو مجموعة من القوانين أو تراكم لنظام من التنظيمات والمواصفات القياسية. إن الكود الأكثر شهرة في الولايات المتحدة الأمريكية هو الكود الكهربائي الوطني الذي وضعه الاتحاد الوطني للحماية من الحرائق NFPA. هناك في الهند الكود الكهربائي الوطني الذي وضعه مكتب المواصفات القياسية الهندسية. وبشكل عام فإن الكود عبارة عن تجميع أو مراكمة لمواصفات قياسية ذات علاقة بمجال معين ذي أهمية. فمثلاً تتضمن الكودات الصحية لحكومة الولاية مواصفات قياسية ذات علاقة بتأمين الرعاية الصحية لسكان الولاية.

**المواصفات:** هي مستندات تُستخدم للتحكم في شراء الأجهزة بوضع معايير للأداء ومعايير أخرى ذات علاقة. وتغطي هذه المستندات عادة معايير التصميم وأداء النظام والمواد والبيانات التقنية.

إن المواصفات القياسية والكودات والتنظيمات قد يكون وقد لا يكون لها آثار قانونية، وهذا يعتمد على ما إذا كانت المنظمة المعلنة لها حكومية أو قطاعاً خاصاً.

### (١,٨,١) أنواع المواصفات القياسية Types of Standards

هناك بشكل عام ثلاثة أنواع من المواصفات القياسية للأجهزة الطبية:

**المواصفات القياسية الطوعية:** تُطَّور من خلال عملية توافق يشارك فيها المصنعون والمستخدمون والمستهلكون والجهات الحكومية، ولا تحمل هذه المواصفات أية قوة إجبار أو إلزام إلا أنها توفر نقطة مرجعية لتفاهم متبادل.

**المواصفات القياسية الإلزامية:** يتم الخضوع لها بقوة القانون، وهي ملزمة لأولئك الذين تكون المواصفة القياسية موجهة إليهم (أي المعنيين بها)، وتُفرض من قبل الهيئة التي لها السلطة القضائية.

**المواصفات القياسية ذات الملكية الخاصة:** تُطوَّر إما من قبل مصنع لاستخدامه الداخلي الخاص أو من قبل اتحاد تجاري لتُستخدَم من قبل أعضائه. ويمكن تبني هذه المواصفات كمواصفات قياسية طوعية أو إلزامية بتوافق / باعتماد الجهات ذات العلاقة.

### (١,٨,٢) متطلبات تنظيمية Regulatory Requirements

أقر الكونغرس الأمريكي عام ١٩٧٦م التعديل الخاص بالأجهزة الطبية في القانون الاتحادي للغذاء والدواء ومواد التجميل، والذي يمنح هيئة الغذاء والدواء FDA سلطة تنظيم جميع أوجه التصنيع والبيع تقريباً للأجهزة الطبية والتشخيصية. وفي هذا القانون يعني مصطلح "الجهاز الطبي": "أي بند مُعَد لغرض طبي ولا يعتمد على نشاط كيميائي للوصول إلى تأثيره المقصود منه". وقد أُجريت تعديلات أخرى للقانون كان الهدف الأساسي منها

ضمان سلامة وفعالية الأجهزة الطبية قبل تسويقها. وقد تم إنجاز ذلك بتصنيف الأجهزة في أصناف ثلاثة بناء على مبدأ أن الأجهزة التي تطرح أخطاراً كامنة أكبر ينبغي أن تخضع لمتطلبات تنظيمية أكثر.

**الصنف الأول**

**ضوابط عامة:** جهاز تكون الضوابط المخوَّلة بالقانون لأجله كافية لتأمين ضمان معقول لسلامته وفعاليته. ويُطلب من المصنعين أن يقوموا بالتسجيل وبإشعارات ما قبل التسويق وبحفظ السجلات وبوضع الملصقات التمييزية وبالإفادة عن أية تجارب سيئة أو ممارسات تصنيع جيدة. من الواضح أن هذه الضوابط تنطبق على الأصناف الثلاثة كلها.

**الصنف الثاني**

**المواصفات القياسية للأداء:** تنطبق على الأجهزة التي لا تكون من أجلها الضوابط العامة كافية لتأمين ضمان معقول للسلامة والفعالية، والتي تكون من أجلها المعلومات الموجودة كافية لوضع مواصفة قياسية للأداء تؤمن هذا الضمان. إلا أنه، وحتى يتم تطوير مواصفات قياسية للأداء بواسطة تنظيم، فإن الضوابط العامة هي التي تنطبق.

**الصنف الثالث**

**اعتماد ما قبل التسويق:** ينطبق على الأجهزة التي تُستخدم لدعم حياة الإنسان أو المحافظة عليها أو لمنع إضعاف صحة الإنسان، وعلى الأجهزة المزروعة في الجسم، وعلى الأجهزة التي تمثل بشكل كامن مخاطرة غير مقبولة لمرض أو أذية. إن هذه الأجهزة شديدة التنظيم وتتطلب أن يثبت المصنعون سلامتها وفعاليتها قبل إطلاقها في السوق.

ربما يكون من الجدير بالملاحظة أن البرمجيات التي تُستخدم بشكل متزايد في الأجهزة الطبية قد أصبحت مجالاً ذا أهمية بالغة لأن العديد من الحوادث الخطيرة قد عُزيت إلى علل أو مشاكل برمجية. وفي ضوء ذلك فإن هناك تطلباً زائداً للمحافظة على قابلية تتبع الأجهزة حتى الزبون النهائي، ولمراقبة ما بعد التسويق للمزروعات المحافظة على والداعمة للحياة، ولنظام إبلاغ في المستشفى عن الحوادث ذات الضرر.

يمكن إنزال الأجهزة الطبية الجديدة إلى السوق بواسطة مسارين. تطلب هيئة الغذاء والدواء اعتماد ما قبل التسويق للأجهزة التي تؤدي وظيفة جديدة أو تعمل على مبدأ جديد. أما الجهاز الذي ينسخ وظيفة جهاز آخر موجود في السوق من قبل ويكون مكافئاً مبدئياً للجهاز الموجود فيتم منحه الاعتماد. هذا النوع من المتطلبات التنظيمية موجود في بعض البلدان الأخرى أيضاً.

**(١,٨,٣) الهيئات ذات العلاقة بالمواصفات القياسية Standards Related Agencies**

تمتلك غالبية بلدان العالم هيئاتها الوطنية لوضع وتطبيق المواصفات القياسية. فمثلاً إن الهيئة المسؤولة عن وضع المواصفات القياسية للعديد من المنتجات والخدمات في الهند هي مكتب المواصفات الهندية BIS. إلا أنه في

العالم الحالي للتعاون الدولي والتجارة الدولية أصبح من الضروري تبني مواصفات قياسية موحدة يمكن تطبيقها عبر الحدود الوطنية، وهناك منظمتان على المستوي العالمي فعالتان في هذا المجال هما:

**الهيئة الكهروتقنية الدولية IEC:** تتعامل مع جميع المسائل ذات العلاقة بالمواصفات القياسية للأجهزة الكهربائية والإلكترونية. ويتم إشغال العضوية في الهيئة الكهروتقنية الدولية باللجنة الوطنية لكل بلد. إحدى المواصفات القياسية الجديرة بالذكر والتي تم تطويرها من قبل الهيئة الكهروتقنية الدولية هي المواصفة القياسية ذات الرقم ١-٦٠٦٠١ وعنوانها: سلامة الأجهزة الطبية الكهربائية، الجزء الأول: متطلبات عامة للسلامة لعام ١٩٨٨م وتعديلها عام ١٩٩١م[١]، وهناك المواصفة القياسية ذات الرقم ١- ١-٦٠٦٠١[٢] وعنوانها: متطلبات السلامة للأنظمة الطبية الكهربائية.

**المنظمة الدولية للتقييس ISO:** تشرف هذه المنظمة على مواضيع المواصفات القياسية للأجهزة غير تلك ذات العلاقة بالتكنولوجيا الكهربائية، وهدفها تسهيل التبادل الدولي للبضائع والخدمات وتطوير التعاون المتبادل في القدرة الفكرية والعلمية والتكنولوجية والاقتصادية.

بالإضافة إلى ذلك هناك كثير من الهيئات التي تنشر تنظيمات ومواصفات قياسية في مجال السلامة الكهربائية والسلامة من النيران وإدارة التكنولوجيا والسلامة المهنية والأشعة والطب النووي والمختبرات الطبية والسلامة البيولوجية والحد من العدوى وأجهزة التخدير وتوزيع الطاقة وأنظمة الغازات الطبية. وهناك الآلاف من المواصفات القياسية القابلة للتطبيق وتوجيهات للممارسة السريرية والقوانين والأنظمة. إضافة إلى ذلك يتم طرح المواصفات القياسية الطوعية من قبل عدد كبير من التنظيمات وطرح المواصفات القياسية الإلزامية من قبل عدد كبير من الجهات الحكومية. ولذلك فإن مما يُنصح به المهندسون الطبيون هو الرجوع إلى المواصفات القياسية الدولية / الوطنية ذات العلاقة من أجل القيام بواجباتهم المهنية بفعالية.

---

(١) ملاحظة المترجم: صدرت عام ٢٠٠٥م الطبعة الحديثة لهذه المواصفة القياسية وقد قامت الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس بترجمتها للعربية.

(٢) ملاحظة المترجم: قامت الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس بترجمة هذه المواصفة القياسية أيضاً كما قامت بترجمة المواصفة القياسية الخاصة بالرموز التوضيحية للأجهزة الكهربائية في الممارسة الطبية (IEC 60878).