الباب السابع

الهندسة الطبية

التشخيص بالأمواج فوق الصوتية

لقد احتل استخدام الأمواج فوق الصوتية في التشخيص الطبي مكاناً مرموقاً. إذ أن لها فائدة جوهرية بالمقارنة مع الأمواج المشعّة، تكمن في خلوّها من الأذى وسهولة تطبيقها إذا استخدمت بالجرعة المناسبة.

تقيس أجهزة التشخيص فوق الصوتية التأخر الزمني للأمواج فوق الصوتية المنعكسة عن الجسم. وبهذه الرطيقة يحصل المرء على معلومات فراغية عن جوف الجسم. وإذا استطاع المرء التقاط تغيّر التردد للأمواج المنعكسة، أمكنه قياس الحركات ضمن الجسم (طريقة دوبلر).

الموجات فوق الصوتية:

الموجات الصوتية هي تغيرات في الضغط أو الكثافة سريعة ودورية، تتعلق سرعة انتشارها بالوسط المحيط. تعرف الموجات فوق الصوتية أنها الموجات ذات التردد الذي يزيد عن ١٦ كيلوهرتز (١ هرتز = هزّة في الثانية) ولا يمكن لسمع الإنسان أن يلتقطها. وتقع الموجات فوق الصوتية المستخدمة في الطب ضمن المجال الترددي (١-١٠ ميغاهيرتز)، ويمكن ضمها لتستخدم على شكل حزمة أو شعاع. يظهر التأثير المتبادل للأشعة فوق الصوتية مع النسج الحيوية على شكل امتصاص (تخميد) وانعكاس وانكسار على نحو مشابه لما يحدث للضوء في الزجاج. يظهر الانعكاس والانكسار على السطوح الفاصلة بين وسطين مختلفين في الخواص الفيزيائية، مثلاً كالسطح الخارجي لجلد أحد الأعضاء أو لِوَرَمٍ ما. وبما أن هذه الفروقات في النسيج غالباً ما تكون طفيفة، لذا فإن الأمر يتطلب حساسية عالية في جهاز الاستقبال.

التصوير بالأمواج فوق الصوتية ❶ ❷

يشكل جهاز التصوير بالأمواج فوق الصوتية صوراً لمقاطع جزئية من جوف الجسم. يُعدّ ما يسمى بالمسح المركب Scan - Compound أحد أساليب التصوير

المختلفة، وفيه يتم تحريك محوّل فوق صوتي يدوياً فوق الجزء المطلوب من الجسم (الشكل ١). ثم تُعرَض المنطقة المُعرَّضة للأشعة فوق الصوتية على شكل صورة ثنائية الأبعاد، تستخدم في الغالب لفحص الأجنَّة والأورام. يتألف جهاز الأشعة فوق الصوتية من محول فوق صوتي وحساسات ميكانيكية وحاسوب ذي شاشة ووسائل تخزين وبرنامج خاص لمعالجة الصور.

تُوَلَّد الأمواج فوق الصوتي في المحوّل فوق الصوتي، الذي تتألف نواته من قطعة من الخزف الكهرإجهادي، تحول التوتر المتناوب ذي التردد العالي المطبق عليها إلى اهتزازات ذاتية ميكانيكية، تنتقل في الوسط المحيط بها على شكل أمواج صوتيّة، كما يستخدم المحول أيضاً كلاقط للأمواج Microphone، حيث يحول الموجة الصوتية الواردة عليه إلى إشارة كهربائية.

عند وضع المحول على منطقة ما، تنتشر الأمواج فوق الصوتية الصادرة عنه في الجسم بشكل مستقيم، ثم ترتدّ عن السطوح الفاصلة المختلفة (مثلاً نسيج عظمي).

من أجل استخدام المحوّل كمرسل ومستقبل يتم إرسال الأمواج فوق الصوتية على فترات زمنية قصيرة، وفي الفترة الفاصلة بين فترتي إرسال يتم استقبال الموجات المنعكسة. بقياس أزمنة التأخير المختلفة للإشارات المنعكسة يمكن للمرء بمعرفة سرعة الصوت تحديد بُعد السطوح الفاصلة. إذا مُثِّلت الإشارات المنعكسة على مستقيم عن طريق نقاط مضيئة متناسبة مع زمن التأخير والمسافة المقطوعة نحصل على صورة وحيدة البعد (الشكل ٢).

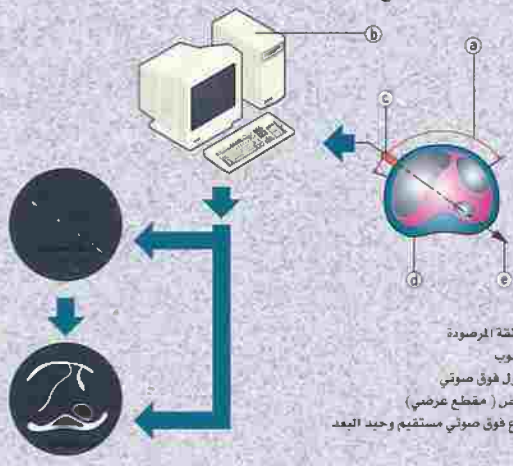
للحصول على صورة مقطع ثنائية البعد، يتم الجمع بين كثير من هذه الصور الوحيدة البعد (الشكل ٢). حيث يتحرك المحول الصوتي على الجسم بخط مستقيم أو يثبت على نقطة واحدة ويُؤَرجَح (لتغيير الزاوية). في كلا الحالتين يمسح شعاع الأمواج الصوتية مساحةً تتجمّع الإشارات المنعكسة عنها في الحاسوب لتشكّل صورة، تظهر غالباً على شاشة مراقبة. يتم تحديد وضعيّة واتجاه المحول بواسطة الحساسات الميكانيكية، التي تُخبر الحاسوب دوماً عن مكانه ووضعيّته.

طريقة دُبْلَر:

تعتمد طريقة دُبلر على الأثر المسمى بالاسم ذاته وتستخدم لتحديد الحوادث الحركية في الجسم. يعرف أثر دُبلر من خلال عبور سيارة الإسعاف أثناء تشغيلها للمنبه (الزمّور). إذ يرتفع تردد صوت الزمّور عند اقتراب السيارة وينخفض عند ابتعادها. ويتناسب تغير التردد طرداً مع سرعة السيارة ومع تردد الزمور. وبشكل مماثل يتغير تردد الإشارة فوق الصوتية عندما تنعكس عند عنصر متحرك في الجسم. ومن انزياحات التردد يمكن استنتاج الحركات. بهذه الطريقة يمكن على سبيل المثال ترئيه نبضات قلب الجنين أو سرعة جريان الدم.

❶ فحص جوف البطن بمساعدة جهاز أمواج فوق صوتية

❷ تشكيل الصور بالأمواج فوق الصوتية



التشخيص بالأمواج فوق الصوتية

أجهزة الأشعة السينية (أجهزة رونتجن)

تُعد أجهزة رونتجن اليوم من الوسائل المساعدة التي لا غنى للطلب عنها. وأشهر استخداماتها هو تشخيص رونتجن الذي يعتمد على تصوير أجزاء من جوف الجسم (التصوير الطبقي المحوري ⟵). يتم إظهار الحوادث الحركية في الجسم عن طريق إضاءتها. بالإضافة إلى التشخيص تستخدم أشعة رونتجن لأغراض علاجية؛ مثلاً لتدمير خلايا خبيثة في الجسم (أورام أو سرطان). أشعة رونتجن هي أمواج كهرطيسية مشعّة بطول موجي (y ~ ١٠٠ - ٠,٠٣ × ١٠$^{-١٢}$م) وهذا يكافئ طاقة إشعاعية (E ١٢ - ٤٠٠ كيو إلكترون فولت).

أنبوبة رونتجن ❶

الجزء الأساس في الجهاز هو أنبوبة رونتجن التي تتولد فيها الأشعة السينيّة، وتتألف من قارورة زجاجية مفرغة من الهواء ومهبط توهج (القطب السالب) ومصعد دوار مربوط على محرك (القطب الموجب) مع تبريد مائي (الشكل ١). يطبّق بين القطبين توتر تسريع U (١٢-٤٠٠) كيلوفولت. يُصدر المهبط المتوهج الساخن إلكترونات تنتزع من الإسطوانية الملحقة وتندفع باتجاه المصعد الموجب. تكبح الإلكترونات عند اصطدامها بالمصعد وتحول جزءً من طاقتها الحركية في ذرات المصعد إلى أشعة سينية. تتناسب الطاقة الأعظمية للأشعة السينية طرداً مع توتر تسريع الإلكترونات وعكساً مع طول موجة الأشعة. بما أن اصطدام الإلكترونات بالمصعد يصاحب بإصدار حراري، لذا يتم تبريده من الداخل بالماء. أما دوران المصعد فهو من أجل أن يتوزع التآكل عليه بشكل متساوٍ.

التشخيص بالأشعة السينية ❷ ❸

أشهر طرق التشخيص بهذه الأشعة هي التصوير الفوري بالأشعة السينية على رقاقة تصوير. ويتألف جهاز التصوير بالأشعة السينية من أنبوبة رونتجن ودارة

التغذية الكهربائية، التي تحتوي على محول جهد عالٍ، ومن طاولة تصوير وعلبة رقاقة التصوير وحاسوب وغرفة منفصلة محميّة ذات نافذة مجهزة بزجاج رصاصي.

يتوضّع الجزء المراد فحصه من الجسم على طاولة التصوير بين أنبوبة رونتجن ورقاقة التصوير. تخترق الأشعة السينيّة الجسم، فتمتصها نُسُج الجسم (أي أنها تتخامد) بما يتناسب طرداً مع كثافة كل نسيج. يعد الأثر الضوئي Foto effect وأثر كومبتون Compton effect مسؤولين عن امتصاص الأشعة السينية في الجسم. في الأثر الضوئي يتم انتقال كل طاقة فوتون رونتجن (أصغر جزء من الأشعة) إلى أحد الإلكترونات، مما يؤدي إلى انفصاله عن ذرته. أما في أثر كومبتون فينتقل إلى الإلكترونات جزء من الطاقة فقط ويتخامد الفوتون وينحرف عن مساره. وتعمل أشعة رونتجن المتبقية على تسويد رقاقة التصوير. بهذه الطريقة يمكن عرض أجزاء من الجسم ذوات كثافات مختلفة على رقاقة تصوير واحدة. هنا تظهر الأجزاء ذات الكثافة العالية كالعظام مثلاً بلون فاتح. عند تصوير المعدة أو الأمعاء أو الأوعية الدموية تزوَّد بمادة تباين، حتى يبدو العضو المستهدف ذا كثافة مختلفة عن النسج المحيطية به (الشكل ٣).

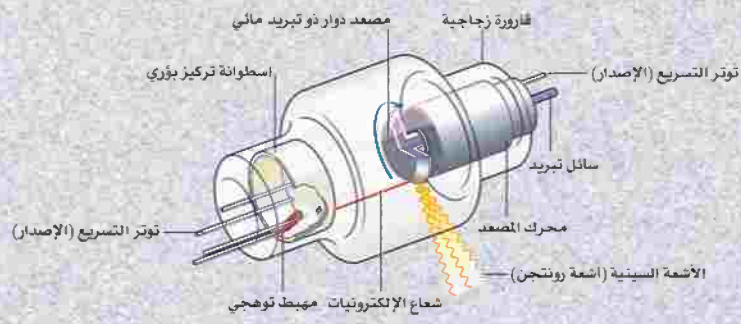
تحتوي عبوة رُقاقة التصوير على رقاقة التصوير بالإضافة إلى رُقاقة تقوية توضع فوقها وتقوم بتحويل الجزء الأكبر من أشعة رونتجن إلى ضوء مرئي عبر طبقة المادة الضوية الموجودة عليها. مما قد يؤدي إلى خفض كثافة الأشعة السينية. وتحتوي الحجرة المنفصلة ذات الزجاج الرصاصي على أجهزة الإدارة والتحكم، لتؤمِّن بذلك حماية السَّدنَة أثناء التصوير. وفي التجهيزات الحديثة يستخدم بدلاً من رقاقة التصوير كاميرات CCD (←)، التي تحوّل الأشعة إلى إشارات إلكترونية نقطية يتم تفسيرها عبر الحاسوب.

الحماية من الأشعة:

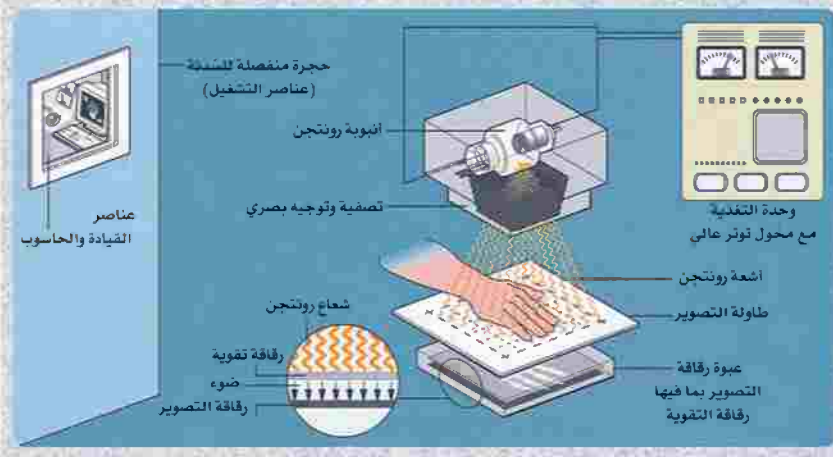
الأشعة السينية هي أمواج ذات نشاط إشعاعي، أي أنها ذات أثر تشريدي. والتشريد هو نزع الإلكترونات من الذرة. حيث يؤدي ذلك إلى تغيّر في التركيب

الكيميائي للنسيج الممتص للأشعة وقد ينتج عن ذلك تغير حيوي في المادة الوراثية، مما قد يتسبب بالسرطان. وتقاس خطورة الأشعة بما يسمّى الجرعة المكافئة Aqui-valentdosis (واحدتها سيفرت Sv). عند أخذ صورة شعاعية يتلقى الجسم (٠,٥-٢) msv تبعاً لطريقة التصوير. للمقارنة: يبلغ التعرّض الإشعاعي الطبيعي لأي إنسان حوالي (١) msv في السنة. إن تعرض الجسم كله لجرعة قدرها (٤٠٠٠) ميلي سيفرت تكون نتيجته الوفاة خلال زمن قصير. وبما أن إشعاع أنبوبة رونتجن قوي جداً، لذا تُغطى أجزاء الجسم غير المستهدفة بغطاء من الرصاص أثناء التصوير. إن لوحاً من الرصاص بسماكة ١ مم من شأنه تخفيض تأثير أنبوبة استطاعتها ١٠٠ كيلوفولت إلى ٤٪. لتخفيض تعرض الجسم للأشعة يجري البحث حالياً لإنقاص جرعات الأشعة من خلال تقنيات تصوير مناسبة (كطريقة رقاقات التقوية على سبيل المثال).

❶ مبدأ أنبوبة رونتجن



❷



❸ تصوير الأمعاء الغليظة بالأشعة السنية باستخدام مادة التباين (المساعِدة)

أجهزة الأشعة السينية

التصوير الطبقي الحاسوبي
والتصوير بالرنين المغناطيسي

يندرج تحت اسم التصوير الطبقي Tomography طريقة عرض صورة لمقاطع الجسم تظهر فيها حتى الأجزاء المخفيّة وذلك بخلاف صورة الأشعة السينية التقليدية. حيث تؤخذ صور مقطعية متوازية كثيرة ثم تجمّع لتشكل صورة ثلاثية الأبعاد للمقطع المطلوب.

يستخدم تصوير الرَّنين المغناطيس ما يسمى بطنين (رنين) الفتل الذاتي لنوى الذرّات في حقل مغناطيسي تحت تأثير موجات كهرطيسية. أما التصوير الطبقي الحاسوبي فيقصد به طريقة تصوير مشابهة لتصوير الأشعة التقليدية لكنها تتضمن قياس نسبة امتصاص الجسم للأشعة (تخامدها).

ما هو طنين الفتل الذاتي (الرنين المغناطيسي)؟ 1

تتألف الذرة من نواة فيها بروتونات ونيوترونات ومن إلكترونات تدور حولها. يمكن لنواة الذرّة التي تحوي عدداً مفرداً من النترونات أو البروتونات عند تعرّضها لحقل مغناطيسي خارجي B أن تأخذ إحدى حالتين. تختلفان فيما بينهما بمضمون الطاقة مع إمكان التحول من واحدة إلى الأخرى (الشكل ١). هنا يكون فارق الطاقة ΔE متناسبة طرداً مع شدة الحقل المغناطيسي. عند تسليط موجة مغناطيسية ذات طاقة ΔE وترددها بضعة ميغاهرتز، يمكن لنواة الذرة أن تتحرض منتقلة من مستوى الطاقة الأدنى إلى الأعلى. بعد زمن قصير تعود النواة إلى حالتها الأولية مصدرة موجة كهرمغناطيسية بالطاقة ذاتها. تحمل هذه الموجة المصدرة (طنين الفتل الذاتي) معلومات عن كثافة المادة والرابطة الكيميائية التي تتصف بها النواة المصدرة للموجة. البيانات الهامة هي شدة الموجة وانزياح التردد ومدة استمرار الإصدار.

التصوير بالرنين المغناطيسي 2 3

يظهر (الشكل ٢) صورة توضيحية لجهاز التصوير بالرنين المغناطيسي، وهو على شكل أنبوبة معاينة يستلقي داخلها المريض. تحاط الأنبوبة بملفات كهربائية كبيرة تولد حقلاً مغناطيسياً ثابتاً.

تولّد الموجات الكهرومغناطيسية اللازمة لتحريض نوى الذرات من قبل الملفات ذات التردد العالي، التي ترسل موجات نبضيّة خلال فترات الراحة بين إرسالين يتم استقبال موجة طنين الفتل الذاتي الصادرة عن نوى الذرات المحرَّضة. من أجل الحصول على صور متعددة الأبعاد لمقاطع الجسم يجب تحديد مُنطَلَق الموجة المرسلة، لذلك يضاف إلى الحقل المغناطيسي الموجود حقلاً إضافيّاً، تكون قيمته مختلفة باختلاف نقطة القياس. يتم توليد هذا الحقل عن طريق ملفات التدرّج. إذا تعرضت الذرات لموجات ذات طاقات مختلفة في وقت واحد فإنها ستصدر موجات ذات طاقات مختلفة أيضاً. بما أن كميّة الطاقة ΔE للموجة المصدرة تتعلق بالحقل المغناطيسي B، الذي يتمتع في كل نقطة من الجسم قيمة (خاصة) مختلفة، لذا فبإمكان الموجة المصدرة حمل معلومة تدل على مكان إصدارها. تجرى الحسابات عن طريق حاسوب يقوم في النهاية بجمع المعلومات على شكل صورة. وإلى جانب معالجة الصورة يتولى الحاسوب التحكم بملفات الحقل المغناطيسي وملفات التردد العالي وكذلك إدارة تخزين المعلومات.

في التصوير بالرنين المغناطيسي غالباً ما يتم تحريض نوى ذرّات هيدروجين الماء الموجود في خلايا الجسم. عن طريق معرفة شدّة ومدّة الموجة المصدرة تحصل الصورة على معلومات حول كثافة هيدروجين الجسم، وبتحديد الإنزياح الترددي يتم الحصول على معلومات عن الروابط الكيميائية القائمة على الهيدروجين. بذلك يتم التمييز بشكل جيد بين أنواع النسج المختلفة في الجسم. كالشحم أو العضلات أو الأورام على سبيل المثال.

التصوير الطبقي الحاسوبي:

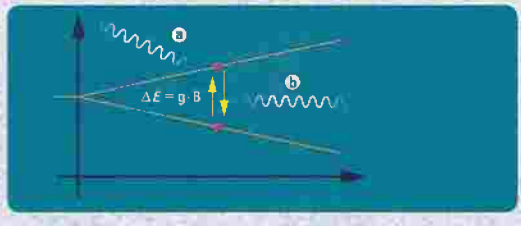
يشبه جهاز التصوير الطبقي الحاسوبي في شكله الخارجي جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي. فهو يثبت أشعته إلى مقطع الجسم المستهدف بشعاع رونتجن دقيق موزع على كامل المقطع ويقيس امتصاص الأشعة عبر كواشف مثبتة بشكل حَلَقي (حول الجسم). تتولد الأشعة من أنبوبته رونتجن. للحصول على معلومات كاملة عن مقطع الجسم يتم تدوير أنبوبة رونتجن حول جسم المريض، ويتم أخذ قياسات كثيرة. هنا أيضاً يتم تحصيل المعلومات وتجميعها على شكل صورة بواسطة حاسوب.

فوائد ومساوئ الطريقتين :

من أهم فوائد التصوير بالرنين المغناطيسي تفادي التعرض للإشعاع الناتج عن أشعة رونتجن. كما أن صورة الرنين المغناطيسي تحوي كثيراً من المؤشرات المفيدة. حيث تفيد في تحديد البنية الدماغيّة، مثل التفريق بين الأوعية المليئة بالماء أو الهواء وتمييز المادة البيضاء عن الرمادية في الدماغ وبيان الأورام (الشكل ٣) هذه الأشياء لم يكن بالإمكان التمييز بينها باستخدام الأشعة السينية.

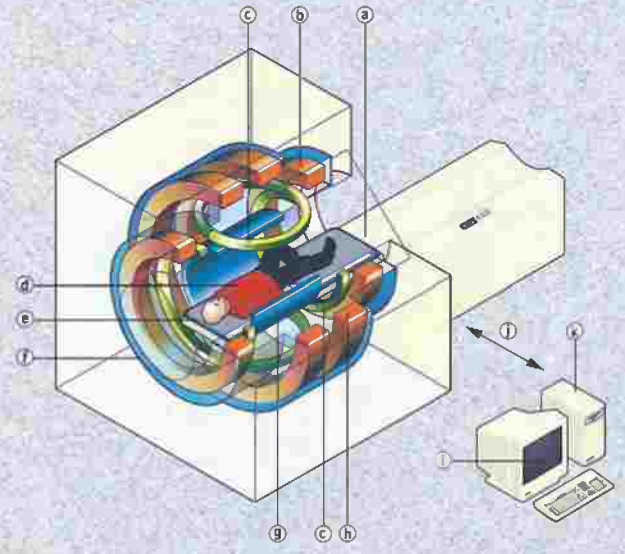
❶ تغير مستوى الطاقة للإلكترون في حادثة طنين الفتل الذاتي

ⓐ الموجة الكهرومغناطيسية الموجهة على المادة بطاقة ΔE
ⓑ الموجة الكهرومغناطيسية الصادرة عن نواة الذرة بطاقة ΔE (= طنين الفتل الذاتي)



❷ بنية جهاز تصوير بالرنين المغناطيسي

ⓐ فتحة أنبوبة المعاينة
ⓑ ملفات كهرومغناطيسية
ⓒ ملفات تدرج
ⓓ المريض
ⓔ مضجع المريض
ⓕ أنبوب المعاينة
ⓖ ملف تردد عالي
ⓗ ملفات كهرومغناطيسية
ⓘ شاشة
ⓙ نقل بيانات
ⓚ حاسوب ذو استطاع عالية



❸ تصوير الجمجمة بالرنين المغناطيسي

التصوير الطبقي الحاسوبي والتصوير بالرنين المغناطيسي

منظم نبضات القلب

يقدم اليوم نبضات القلب مساعدة للمرضى الذين يعانون من تسرع أو تباطؤ أو عدم انتظام في نبضات القلب ليعيشوا حياة طبيعية تقريباً. فهم لايستطيعون العيش دون هذا الصندوق الأسود الذي يزن /١٠٠/ غرام تقريباً وهو في حجم قطعة الخمسة الماركات (الشكل ١). يزرع منظم نبضات القلب في القفص الصدري في عملية لا تتجاوز نصف الساعة، بعد ذلك لا يحتاج إلى الصيانة إلا كل عشرة أعوام من أجل تبديل مدخرته. كان منظم نبضات القلب في البدايات عبارة عن مولد نبضات ساعة فقط، لذا كان الأمر غالباً ما يستدعي المداخلة الجراحية من أجل تبديل مدخرته الفارغة، أما الآن فإن الأجهزة المستخدمة قابلة للبرمجة والضبط بحسب مستوى نشاط قلب وحاجة جسم المريض دون أية مداخلة جراحية.

متى تدعو الحاجة إلى منظم نبضات القلب؟

القلب عضو عضلي أجوف يحوي أذين أيمن وأذين أيسر وبطين أيمن وبطين أيسر، وهو الذي يضخ الدم إلى أوعية الجسم عن طريق تقلص عضلات القلب (Contraction). يتولد هذا التقلص المنتظم عن طريق منظم نبضات طبيعي هو العقدة الحبيبة التي توجد على الجدار الخارجي للأذين الأيمن وترسل نبضات كهربائية منتظمة. تحرص هذه النبضات في البداية عضلات الأذينين ثم تنتقل في نظام توصيل كهربائي عبر الجلد الخارجي للقلب إلى البطينين حيث تؤدي إلى انقباضهما. على هذا النحو يمتلئ الأذينان أولاً ثم البطينين بالدم، الذي يضخ من هناك إلى الدورة الدموية. تتكرر هذه العملية (نبضة قلب طبيعية) لدى إنسان غير مُجْهَد ما يقرب من /٧٠/ مرة في الدقيقة. بالإضافة إلى ذلك يتم التحكم بتردد نبضات القلب عند الإجهاد العضلي أو الذهني عن طريق حملة عصبية لا إرادية (Vegetative) هذا يعني أنه يُرفع أو يخفض. عند اختلال أو توقف نظام التوصيل الكهربائي فإن القلب سينبض أكثر أ و أقل أو بشكل غير منتظم، عندها يستخدم منظم نبضات القلب الذي يؤمن النبضات الكهربائية اللازمة لتقبض عضلات القلب.

كيف يعمل منظم نبضات القلب ❷ ❸

يتألف منظم نبضات القلب الحديث (الشكل ٢) من حاسوب صغير ومدّخرة يضمها معاً غلاف من التيتانيوم، يوصل إليها سلكان يربط بنهاية كل منهما إلكترود يثبت الإلكترودان على الجدار الخارجي للقلب بواسطة خطّاف معقوف عند الأذين الأيمن والآخر عند البطين الأيمن (الشكل ٣).

يتم إيصال النبضات المتولدة عن الحاسوب إلى عضلات القلب عبر هذين الإلكترودين (التوتر: من (١) إلى (٢) فولت وعرض النبضة: بضعة أجزاء ألفية من الثانية) فإذا كانت نبضات القلب غير منتظمة أو بطيئة فإن النبضات الطبيعية سيستفاد منها إلى جانب نبضات الحاسوب حيث يستقبل الإلكترودان نبضات القلب الطبيعية وتقيّمها بواسطة الحاسوب ولا تظهر النبضات الصنعية إلا عند غياب النبضة الطبيعية. ويمكن إجراء هذا التحكم لنبضات الأذين والبطين كل على حدة.

وإذا كان على سبيل المثال الأذينان والعقدة الجيبية يعملون بشكل جيد لكن نظام التوصيل الطبيعي معطوب، يكون عندها ليس الأذينان وإنما البطينان فقط هما اللذان بحاجة إلى النبضات الصنعيّة.

عند وجود خلل في أداء العقدة الجيبية، فبالإضافة إلى ما ذكر يجب تعديل تردد القلب ليتناسب مع الجهد الذي يبذله الجسم. يتم ذلك بواسطة حساسات إضافية تتولى مراقبة نشاط العضلات والتنفس. إن تزايد النشاط العضلي عند ممارسة الرياضة مثلاً يولّد اهتزازات ميكانيكية في الجسم يتم تحويلها في منظم النبضات بواسطة بلورة كهروإجهادية إلى اهتزازات كهربائية ويجري قياسها. ويقوم حساس آخر بقياس شدة وتردد التنفس. ويتم التحكم بتأثير القيم المقاسة على تردد القلب بواسطة الحاسوب، حيث يتم وضع برنامج التحكم من قبل الطبيب في منظم نبضات القلب. ويتم وضع البرنامج الخاص المناسب لكل مريض على حده دون أية مداخلة

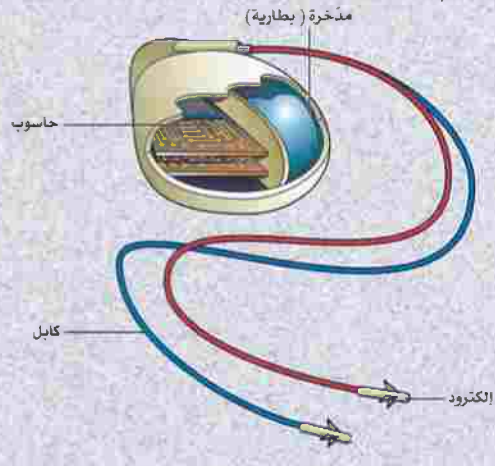
جراحية. لهذه الغاية يثبت الطبيب وحدة إرسال واستقبال مربوطة مع الحاسوب على القفص الصدري، بحيث يمكنه مراقبة وتعديل وظيفة منظم نبضات القلب.

الصعوبات والعقبات:

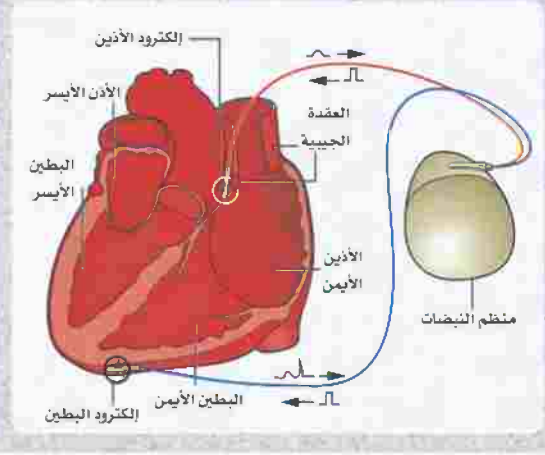
أكثر العقبات تكراراً تنشأ بسبب انزياح الإلكترودات عن موقعها، حيث تُحرض عضلة أخرى بدلاً من تحريض عضلة القلب أو عندما تستقبل نبضات غير النبضات المطلوبة. لكن مع مرور الوقت وصلت حاملات الإلكترودات إلى شكلها الأمثل. مشكلة أخرى تسببها الأجسام الغريبة المزروعة ضمن النسيج الحيّ، لذلك يستخدم اليوم غلاف التيتانيوم وأسلاك لدائنية غير ضارة وأكثر توافقاً مع النسج الحية. بالإضافة إلى ذلك فإن عملية قياس الجهد الذي يتعرض له الجسم لا تأتي دائماً بنتائج صحيحة حيث تتأثر البلورة الكهرإجهادية أيضاً بالاهتزازات الميكانيكية التي يتعرض لها مثلاً سائق سيارة في سيارته. مما يحمل منظم النبضات بناء عليه على زيادة تردد القلب (أنظر سابقاً)، الأمر الذي قد يزعج السائق الجالس ساكناً في مقعده.

❶ منظم نبضات القلب في مقارنة حجمية مع قطعة الخمسة الماركات

❷ منظم نبضات القلب



❸ التحكم بعضلات القلب عن طريق منظم النبضات



منظم نبضات القلب

التنقية بالانتشار الغشائي (الاصطفاء الغشائي)

تصفي الكلية السليمة الماء ونواتج الاستقلاب (مثل البولين) والسموم الأخرى من الدم الجاري في جسم الإنسان. وفي الوقت نفسه تعمل على تزويد الجسم بالمواد الضرورية مثل المعادن والهرمونات ومكونات الزلال. يتخلص الجسم يومياً من حوالي ليتر ونصف الليتر من الماء والسموم عن طريق البول. هذه الكمية يمكن أن تتراجع عند مرضى الكلية حتى الصفر. هؤلاء المرضى ليس لديهم أية فرصة للعيش دون ما يسمى بتنقية الانتشار الغشائي (Dialyse). وفيه يتم وصل دم المريض ثلاث أو أربع مرات أسبوعياً لمدة أربع ساعات تقريباً إلى آلة التنقية بالانتشار الغشائي التي تنقي الدم خارج الجسم وتنزع منه الماء. أثناء هذه العملية يتدفق كل دم المريض (عند البالغين حوالي ٥ ليترات) ست مرات تقريباً عبر الجهاز.

كيف تعمل آلة التنقية بالانتشار الغشائي ❶ ❷

يتألف جهاز التنقية الغشائي من دورة دم ودورة وسيط التنقية، تتصلان فيما بينهما عن طريق المنقي (الشكل ١). في عملية التنقية يؤخذ المريض عبر مأخذ مؤقت موصول مع أحد شرايينه ويعادُ إليه بعد تنقيته عبر وصله وريدية. يضخ الدم في عملية التنقية من الجسم إلى المنقي بواسطة مضخة دحروجية، وفي المنقي يتم عملياً نزع السموح ونزع الماء من الدم، ثم يعاد الدم إلى الجسم عبر مانوميتر لقياس ضغطه ومصيدة فقاعات. فإذا عثرت المصيدة على فقاعات هوائية أو رغوة في الدم فإنها توقف دورة الدم فوراً، لأن ذلك قد يكون مميتاً بالنسبة للمريض.

يستخدم كوسيط تنقية ماء منزوع الشوارد، يقوم أثناء دورانه في دورة الوسيط بسحب السموم والماء من الدم ويتم في حجرة التوازن قياس الفرق بين تيار الوسيط الداخل إلى المنقي والتيار الخارج منه، بذلك يمكن تحديد كمية الماء المسحوبة من الدم، وهي التي يمكن التحكم بها بدقة عن طريق مضخة في دارة الوسيط. وحتى

لاتنتزع من الدم موادَّه الضرورية للحياة (مثل الإلكتروليتات)، يجب إغناء الوسيط بهذه المواد الغذائية، ويتم ذلك عن طريق خزان تزويد، منفصل ومضخة.

تقاس نسبة المواد المغذّية في تيار وسيط التنقية عن طريق مقياس الناقلية. لتجنب نزع الحرارة من الدم يتم تثبيت درجة حرارة دورة الوسيط على درجة حرارة الجسم، وهناك مقياس حرارة لقياس درجة الحرارة المطلوبة. بما أن الفقاعات في دورة وسيط التنقية تسيء إلى وظيفة الدورة، لذا يتم التخلص منها بمساعدة مضخة طرد الغاز التي تولد ضغطاً ناقصاً بالإضافة إلى ذلك يراقب كاشف تسرّب الدم وسيط التنقية باحثاً عن آثار دم قد توجد فيه، الأمر الذي ينم عن عطب في المنقّي. وأخيراً تتم مراقبة ضغط دورة الوسيط عن طريق مانو ميتر.

تتم إجراءات التحكم والمراقبة لعمليات التنقية بالفرز الغشائي عن طريق جهاز قيادة المنشأة (الشكل ٢). يمكن للطبيب من خلاله قراءة قيم المواد والدورة والتحكم بالمضخات عند الضرورة.

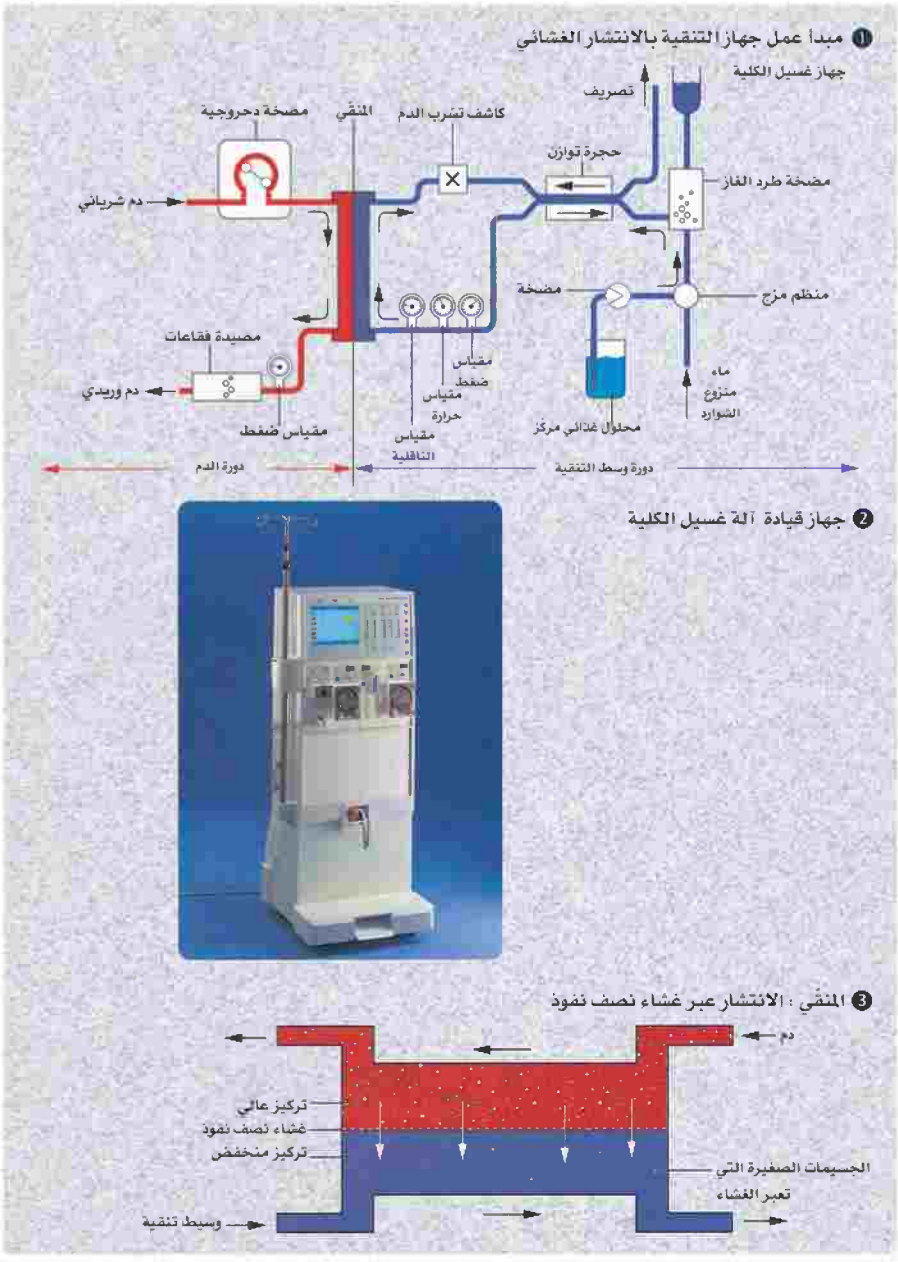
المنقي ❸

الجزء الأساسي للمنقي الغشائي (الكلية الصناعية) هو الغشاء نصف النفوذ (Semipermeable membran) (الشكل ٣). هذا الغشاء نفوذي فقط للماء والجسيمات الدقيقة (دون حجم محدد). ولا يسمح للجسيمات الأكبر بالمرور مثل خلايا الدم، والجزيئات الماكروية. يغمر الغشاء حسب مبدأ التيار المتعاكس، من إحدى الجهتين يمر تيار الدم المطلوب تنقيته ويمر من الجهة الأخرى تيار وسيط التنقية. بما أن جميع الجسيمات المتحركة تسعى نحو التوزع المنتظم أو الانتشار Diffusion، تعبر الجزيئات الصغيرة (وهي المواد السامة الموجودة في الدم) إلى وسيط التنقية. أما القوة المحركة لهذا الانتشار الوحيد الاتجاه (الانتثار: Osmose) فهي فرق التركيز للمواد المنحلة في كلا السائلين.

هناك تصميم للمنقي مستخدم بكثرة ويتألف من حزمة من حوالي /١٠٠٠٠/ خيط أجوف، يسيل الدم في جوفها الداخلي ويتدفق خارجها وسيط التنقية باتجاه معاكس (المنقي الشعري) تصبغ الخيوط من بوليمرات رغوية بقطر حوالي ٢٠,٠مم وتوضع جميعاً في أنبوب أسطواني. يشكل جدران الخيوط الجوفاء سطح الغشاء.

المساوئ والمخاطر:

على الرغم من وظيفتها في الحفاظ على حياة المريض فإن لعملية التنقية بالانتشار الغشائي آثاراً جانبية خطيرة. بالإضافة إلى الآلام المعروفة في العظام والمفاصل فإنها تتسبب في تزايد خطير الاحتشاء أو السكتة القلبية نتيجة لارتفاع ضغط الدم وللاضطراب في استقلاب الدسم. العمر المتوقع لمريض غسيل الكلية يقل /١٥/ سنة عن الإنسان السليم. لذلك لا يُعد غسيل الكلية علاجاً وإنما يستخدم كحل مؤقت حتى يتمكن المريض من إجراء عملية زرع كلية طبيعية.



التنقية بالانتشار الغشائي (الاصطفاء الغشائي)

مخطط الدماغ EEG ومخطط القلب ENG

يسمى الجهاز الذي يقيس التوترات الكهربائية الناتجة عن الدماغ بالـ EEG (Eleektroencephalogramm) بينما يدعى الجهاز الذي يقيس التوترات الكهربائية الناتجة عن القلب بالـ EKG (Elektrokardiongramm) في الطريقتين يُلتقط التوتر عن الجلد عبر إلكترودات ثم يُضخم ثم يتم تظهيره عبر شاشة أو راسمة. بذلك يمكن للطبيب الحكم على حالة دماغ أو قلب المريض، من أجل التأكد من وجود صَرَع أو ورم دماغي أو احتشاء على سبيل المثال.

تنقل الإشارات الكهربائية عن طريق الجملة العصبية على شكل نبضات قصيرة الأمد، وتفيد في نقل المعلومات من الأعضاء الحسية إلى الدماغ وفي التحكم في العضلات عندما يلمس المرءُ خطأً جسماً حاراً على سبيل المثال، يولِّد مستقبل حساس للحرارة في جلده إشارة كهربائية تنقل عبر الجملة العصبية إلى الدماغ. وهناك يُتخذ القرار عموماً بترك الجسم الحار. بناء عليه ترسل إشارة معاكسة إلى الجملة العصبية إلى مجموعة العضلات المناسبة المسؤولة عن حركة ترك الجسم. يمكن للتيار الكهربائي الانتقال بين نقطتين في المواد الناقلة كهربائياً، عندما يطبّق توتر كهربائي بين هاتين النقطتين. المواد الناقلة كهربائياً هي المعادن والمحاليل المائية للأملاح والأخيرة هي التي تنقل التيار في الجسم. تبلغ التوترات القابلة للقياس على سطح الجلد قيماً صغيرة لا تتجاوز (٠,٣) ميلي فولت.

تخطيط الدماغ EEG ❶ ❷

عندما يتم نقل نبضة كهربائية عبر أحد الأعصاب، ينشأ تغير في التوتر والتيار منتشراً على طول العصب. تقع سرعة هذه النبضة في المجال (١-١٢٠ م/ثا). في تخطيط الدماغ EEG يتم قياس التوترات التي تظهر في جلد الرأس (الشكل ١) ويظهر في المخطط محصلة النشاط الكهربائي للجملة العصبية في الدماغ. التوترات ليست ثابتة وإنما تتقلَّب بشكل موجب بتردد (١-٣٠ هرتز).

لإجراء عملية القياس يتم توزيع إلكترودات معدنية (على شكل قطع النقود) بشكل منتظم على الرأس وتُربط بأسلاك ويساعد الغطاء المطاطي في بقائها مضغوطة على الراس (للمحافظة على التماس). ولتحسين الناقلية الكهربائية بين الرأس والإلكترودات يتم دهن الطرفين بمحلول ملحي.

هناك نوعان من الدارات أحادية القطبيّة وثنائية القطبيّة. في الدارة الأحادية القطبية يتم قياس التوتر الموجود بين الإلكترودات كل على حدة ويبين إلكترود مرجعي ثابت (مثلاً: الموجود على شحمة الأذن)، وفي الدارة الثنائية القطبية يقيس المرء التوتر الموجود بين كل إلكترودين موجودين على جلدة الرأس.

تنقل النبضات المقاسة على الإلكترودات عبر سلك إلى مضخم ثم تطبع على راسمة أو تُظْهَر على شاشة، يجب تحجيب الخطوط لحمايتها من التأثيرات الكهربائية الخارجية كالأجهزة الكهربائية الموجودة بجانبها على سبيل المثال.

عند تقويم مخطط الدماغ (EEG) يتم التمييز حسب التردد وشكل الموجات المقاسة (الشكل ٢). عند الترددات (٨-١٣ هرتز) تدعى موجات (a) وتظهر في حالة الراحة والعينان مغمضتان. فإذا فُتحت العينان تتحول موجات (a) إلى موجات (p) ذات االتردد الواقع بين /١٤/ و/٣٢/ هرتز، وهي تدل على النَّشاط والتفكير. موجباً (v) و(g) هماً أبطأ ويقع ترددهما بين /٤/ و/٨/ هرتز أو بين /١/ و/٤/ هرتز وتظهر لدى الأطفال بين الحين والآخر في نومهم أو بسبب الاضطرابات الدماغية.

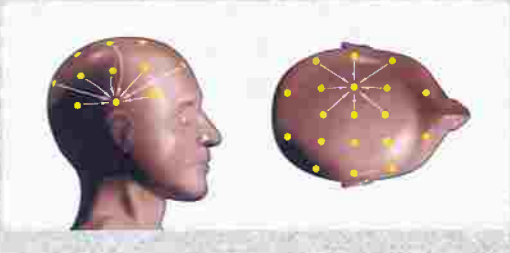
تخطيط القلب EKG ❸ ❹

القلب عضو عضلي أجوف يضخّ الدم في دورة دموية إلى الجسم والرئة. يحدث تقلص القلب نتيجة إثارة بالتيار الكهربائي مثل أية عضلة أخرى تصدر النبضات الكهربائية اللازمة لذلك عن العقدة الحبيبية (← منظم عضلات القلب). يمكن قياس مجموع هذه التوترات على السطح الخارجي للجسم كما في (EEG) بواسطة إلكترودات. هنا أيضاً نميّز نوعين من الدارات أحادية القطبية وثنائية القطبية. في

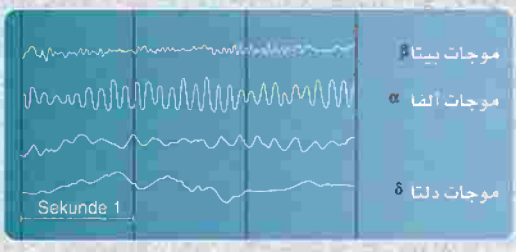
الدارة الثنائية القطبيّة يقاس التوتر بين كل نقطتين طرفيّتين متقابلتين (الشكل ٣ - آ). وفي الدارة الأحادية القطبية توصل كل نقطتين حديتين معاً إلى قطب مرجعي واحد ويقاس التردد بينهما وبين نقطة حدية ثالثة (الشكل ٣-ب). تتم ترئية القيم المقاسة كما في الـ EEG بمساعدة مضخم وراسمة أو شاشة.

الشكل الطبيعي للـ EKG دوري بالنسبة للنبضة ويحوي أيضاً قمة كبيرة وتعرجات صغيرة كثيرة أخرى في كل دورة (الشكل ٤) تعكس كل من العرّجات المختلفة لحظة محددة من نبضة القلب عند التحدب P يبدأ الأذينان بضخّ الدم إلى البطينين، اللذين يبدآن بالتقلص عند الرأس Q. أما القمّتين R وS فتُوضّحان كيفيّة إثارة العضلة. عند القمة T يسترخي القلب، ليبدأ بعد زمن قصير العملية مرة أخرى.

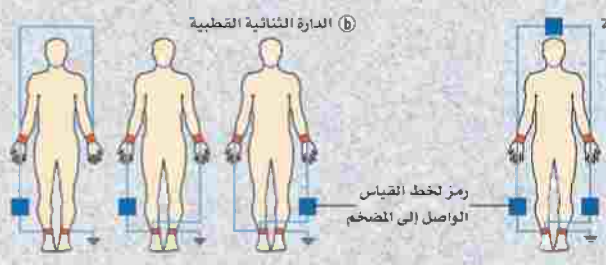
❶ توزيع الإلكترودات على الرأس في التخطيط الدماغي EEG



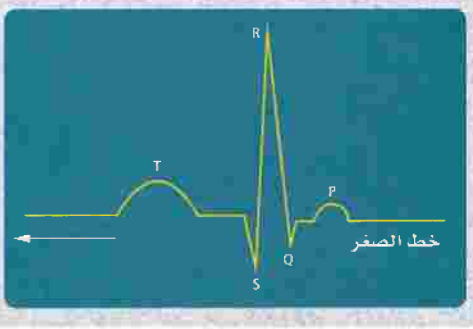
❷ تقويم تخطيط الدماغ، أنماط موجات مختلفة



❸ طرق التوصيل الممكنة بين الإلكترودات في تخطيط القلب



❹ دورة مخطط قلب طبيعي



مخطط الدماغ ومخطط القلب

تحطيم الحصيات بالموجات الصدمية

يُعد تحطيم الحصيات بالموجات الصدمية من الطرق الأقل عدوانية (الجراحة الأقل عدوانية ⟵) المستخدمة لنزع الحصيات من الكلية أو الحالب أو المرارة. وتشكل الحصى بالنسبة للأعضاء المذكورة أكثر الأسباب الممرضة. تذهب معظم هذه الحصيات بشكل تلقائي عن طريق البول. لكنها إذا كبرت فوق حجم محدد، تصبح مؤلمة للمريض ويحتاج لمساعدة الطبيب من أجل التخلص منها.

تنشأ الحصيات نتيجة للترسبات البلورية المختلفة في الأعضاء الناقلة للبول. يمكن أن تنشأ حصيات الكلية على سبيل المثال من أوكسلات الكالسيوم أو فوسفات الكالسيوم يوجد لدى الناس الأصحاء مواد خاصة في البول تمنع انفصال هذه البلورات.

محطم الحصيّات بالموجات الصدمية فوق الصوتيّة ❶ ❷

يولد محطم الحصيّات بالموجات فوق الصوتية (الشكل ١) موجات صدمية فوق صوتية بتردد يقع في مجال /١٠٠/ كيلوهرتز وبشدة عالية، تعمل على تحطيم الحصيات الصلبة من خلال الاهتزازات الميكانيكية التي تسببها. يمكن تركيز حزمة من هذه الموجات الصدمية على بؤرة صغيرة لذلك يمكن استخدامها كشعاع نبضي. خلال معالجة مدتها عشرون دقيقة يعطى للمريض ما يقرب من ألف موجة صدمية. يتألف جهاز محطم الحصيات بالموجة الصدمية من جهاز تشخيص بأشعة رونتجن أو بالموجات فوق الصوتية لتحديد موقع الحصيّة ومن عدة محولات فوق صوتية مسؤولة عن توليد الأمواج فوق الصوتية (جهاز الأمواج فوق الصوتية⟵) وتجهيزات لتركيز الأمواج فوق الصوتية ووسط مساعد على رفع ناقلية الجسم لتلك الأمواج ومن وحدة تحكم مدعومة حاسوبياً (الشكل ٢).

لتكسير الحصية إلى أجزاء صغيرة كثيرة مع حماية النسيج المحيط بها، لا بد من تحديد موقع الحصيّة بدقة؛ هذا يعني معرفة مكانها فراغياً. من أجل ذلك يستخدم

شعاعاً رونتجن متقاطعان، فإذا تخامد الشعاعان بسبب الحصيّة كانت الحصيّة واقعة في نقطة تقاطعهما. يمكن أيضاً أن نستخدم الأشعة فوق الصوتية للتشخيص بدلاً من أشعة رونتجن. وللحصول على أعلى شدة ممكنة للأمواج الصوتية من أجل المعالجة. تركز الأمواج فوق الصوتية الصادرة عن العديد من المحولات فوق الصوتية المصفوفة على مساحة محدبة على شكل جزء من قطع فراغي (الشكل ٢).

تحديد نطقة تركيز الأمواج بحيث تكون فوق الحصيّة تماماً، بحيث تمتص (تتلقّى) الأخيرة الطاقة الأعظمية للأمواج بما أن نسيج الجسم الطري يتمتع بخواص فيزيائية مختلفة عن الحصية ولأن الموجات الصدمية مركزة على الحصيّة، لا يتضرر النسيج المحيط، تولّد الموجات الصدمية اهتزازات ميكانيكية قوية الحصيّة تؤدي إلى تفجيرها بسب هشاشتها ثم تخرج الأجزاء الناتجة عن التفجير مع البول.

من المهم عند الحاجة تأمين انتقال جيد للأمواج الصدمية في الجسم. ويمكن تحقيق ذلك بتمديد المريض في حوض مائي أو فوق مخدة من الهلام بحيث تنتقل الأمواج فوق الصوتية من المحول عبر هذا الوسيط مباشرة إلى الجسم. وفي هذه الطريقة يحدث انعكاس أقل للأشعة عند عبورها السطح الفاصل بين الوسيط ونسيج الجسم مما لو كان السطح الفاصل يحدث بين الهواء والنسيج.

محطم الحصيات بالموجات الصدمية المحرَّض بالليزر ❸

يتألف محطم الحصيّات الليزري من ليزر وناقل ضوئي مؤلف من خيوط الكوارتز بسماكة ٠,٥ مم. الليزر هو منبع ضوئي يرسل حزمة ضوئية مركزة بشدة ذات تردد دقيق وطول موجة محدد (الليزر ⟵). ينتقل شعاع الليزر عبر الناقل الضوئي الذي يتم إيصاله إلى العضو الواجب معالجته. في مخرج الناقل الضوئي يتم تركيز الليزر على بؤرة صغيرة مما يؤدي إلى نشر حراري يعمل على تبخير جزء من سائل الجسم مشكلاً فقاعة غازية حارّة، تتمدد في البداية ثم تنكمش بفعل التبريد. هذا

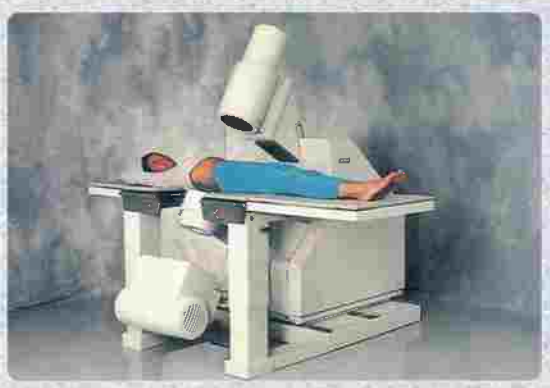
النبض في الفقاعة الغازية يولد موجات صدم ميكانيكية تحطم الحصيّة في غضون دقائق قليلة (الشكل ٣).

مخاطر ومساوئ الطريقة:

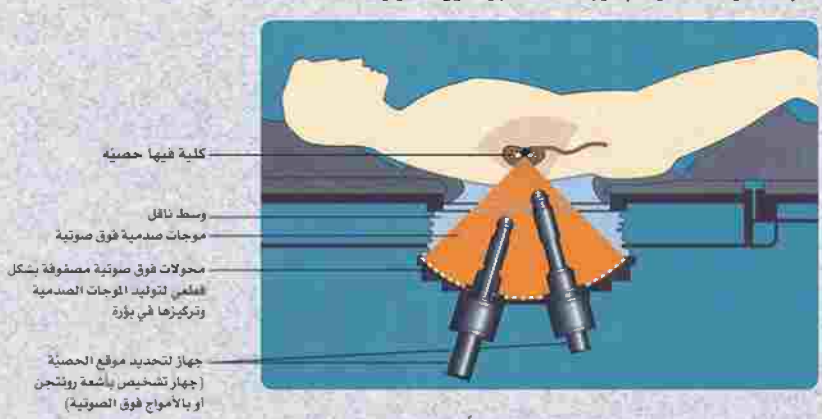
إذا كان بعض فتات الحصية كبيراً، يمكن أن يسبب آلاماً شديدة للمريض عند خروجه مع البول. كثيراً ما تدعو الضرورة إلى استخراج الأجزاء الكبيرة من المثانة بواسطة القثطرة.

يظهر عند كثير من المرضى دم في البول بعد معالجة تحطيم الحصيات. لذا يتم إيقاف كل الوسائل المميّعة للدم (مثل الأسبرين) قبل العملية بزمن طويل. بالإضافة إلى ذلك من المهم العمل على تغطية كافية للمنطقة المحيطة بالمكان المعرض للإشعاع. يتعلق التأثير الضار للأمواج فوق الصوتية بشدّتها ومدة تسليطها ولا علاقة له بالتردد. عند استطاعات أكبر من (١) وات/سم يبدأ تدمير الخلايا والمادة الوراثية. الأمر الذي يؤدي إلى حدوث أضرار دائمة للنسج المعرضة للأمواج.

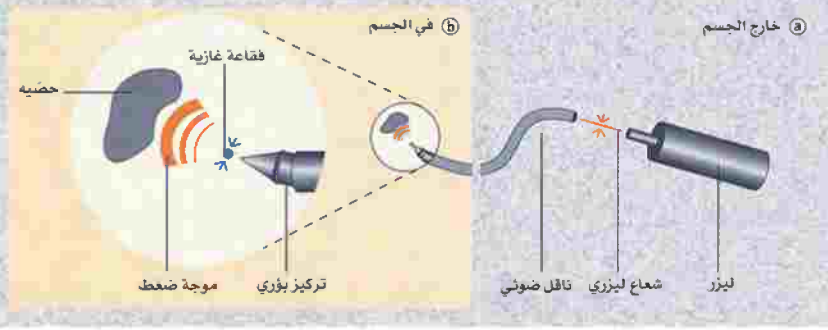
1 جهاز تفتيت الحصيات بالموجات الصدمية فوق الصوتية



2 مبدأ تفتيت الحصيات بالموجات الصدمية فوق الصوتية



3 مبدأ تفتيت الحصيات بالموجات الصدمية المحرضة بالليزر



تحطيم الحصيات بالموجات الصدمية

الجراحة الأقل عدوانية

توصف بالجراحة الأقل عدوانية بشكل عام تلك العمليات التي تنخفض فيها الحاجة إلى جرح الأعضاء السليمة إلى الحد الأدنى. هذا ويبقى الطموح قائماً بمعالجة العضو المريض أو استئصاله مع الاستغناء عن الجرح المعتاد في العمليات الجراحية التقليدية. يُغطى قطاع واسع من الجراحة الأقل عدوانية عن طريق التنظير، ويتبع لها كذلك تقنيات التدخل الرئيفة الأخرى مثل تفتيت الحصيات بالموجات الصدمية (←) أو بالون التوسعة.

التنظير 1 2

يشمل التنظير مراقبة جوف الجسم وأخذ عينات النسيج من أجل التشخيص والتدخل الجراحي بواسطة المنظار الدقيق (الشكل ١)، بهذه الطريقة يمكن فحص معظم أجواف الجسم وأوعيته وتجاويف المفاصل والسطوح الخارجية للأعضاء الداخلية.

يتألف المنظار الدقيق (الشكل ٢) من أنبوب صلب أو مرن (قطره: اسم تقريباً) يحتوي على منظار وغالباً على تجهيزات غسيل وشفط بالإضافة إلى قناة الفحص المعدّة لإدخال أدوات جراحية خاصة مثل كماشة أو أنشوطة معدنية. يتم إدخال المنظار الدقيق إما عن طريق فتحات الجسم الطبيعية مثل الفحم أو الشرج لفحص مسلك المعدة أو الأمعاء، أو عن طريق جرح صغير في الجسم. يتفوق المنظار الدقيق المرن عن مثيله الصلب بسبب قدرته على المناورة، لكن تركيبه أعقد وتعرضه للأعطال أعلى.

لكن يتمكن المرء من رؤية جوف الجسم بواسطة العدسة، لا بد من إدخال منبع ضوئي مع المنظار، يتم ذلك عن طريق حزمة من الألياف الزجاجية، ينقل الضوء فيها بالانعكاس على جدران أليافها (النواقل الضوئية ←).

تتكون العناصر البصرية في المنظار الدقيق الصلب من مجموعة عدسات مشابهة لتلك المستخدمة في المجهر الدقيق. ويمكن للطبيب مبراقبة الحدث بواسطة عدسة أو عن طريق وصل كاميرا تنقل الصورة إلى شاشة وتسجلها على جهاز فيديو إن وجد. أما المناظير المرنة فتحتوي على رقاقة CCD (حساس ضوئي يتألف من عناصر نصف ناقلة كثيرة حساسة للضوء)، تحول الصورة إلى إشارة كهربائية تعالج في الحاسوب ثم تجمعها ثانية (التصوير الرقمي ←). غالباً ما تدعم طرق التنظير الدقيق بأجهزة رونتجن أو فوق صوتية حيث يوجد على سبيل المثال تنظير مرفق برأس فوق صوتي، يستخدم لفحص إصابات جوف البطن.

العمليات التنظيرية / الجراحة التنظيرية ❸

يتحدد عملياً قطر المنظار الدقيق بشكل أساسي تبعاً لعرض قناة الفحص التي تمر عبرها أدوات العملية، وهي عبارة عن نسخ مصغرة لأدوات الجراحة المعروفة مثل المقصات والكماشات والإبر والملاقط والبينات والأنشوطات، كلها تدخل عبر قناة الفحص. في نهاية المنظار يمكن للأدوات أن تتحرك وتأخذ أوضاعاً مختلفة حسب مقتضى العملية. حيث يمكن بالتنظير إجراء عمليات مختلفة مثل استئصال الزائدة الدودية أو حصبات الكلية أو أورام البطن الصغيرة (الشكل ٣). كذلك يمكن استئصال كبير نسبياً: لذلك يتم في البداية ضخ ثاني أوكسيد الفحم إلى محيط الورم ثم يجري حبس الأوعية الدموية الواردة بأنشوطة. في /مجال العمل/ المهيأ خالياً من الدم يمكن للطبيب تقطيع الورم واستبعاده قطعة فقطعة.

نفاخة التوسعة (بالون التوسعة):

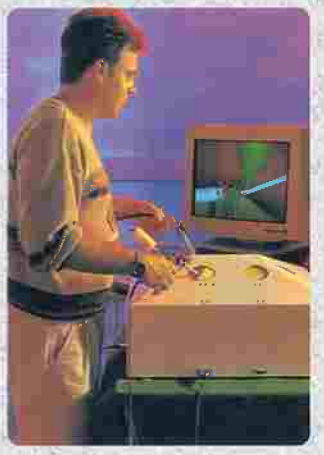
هذه الطريقة المتشابهة مع الجراحة التنظيرية تمكن من توسيع الوعاء الدموي المسدود دون الحاجة إلى عملية جراحة الأوعية المعروفة، حيث يُدخَل في البداية سلك عبر الدارة الدموية حتى الوعاء المصاب ومهمته توجيه البالون الذي سيحشر في الوعاء، وبعد وصوله إلى المنطقة المصابة.

يفنخ ليصل طوله إلى عدة سنتمترات بقطر محدد ليوسع بذلك الوعاء الدموي المتضيّق. ويراقب الطبيب الحدث على شاشة بواسطة جهاز أشعة رونتجن بعد حقن الأوعية الدموية بمادة تباين لتمييزها.

فوائد ومساوئ الجراحة الاقل عدوانية:

إن الفائدة الحاسمة للجراحة الأقل عدوانية هي في شعور المريض. فالألم الناتج عن التدخل الجراحي أصبح أخف بالنسبة إليه كما أنه يمكن أن يشفى بشكل أسرع ويغادر المستشفى أسرع. لكن هذه الجراحة مفيدة في التدخلات الصغيرة (مثل أخذ عينات من النسيج)، أما في التدخلات الكبيرة (مثل استئصال الأورام) فإنها لا تعد الأفضل، العملية تحتاج إلى وقت أطول حيث يدوم التخدير فترة أطول ويرتفع خطر التدخل الجراحي. بالإضافة إلى أن تدريب الجراح التنظيري شاق ومكلف.

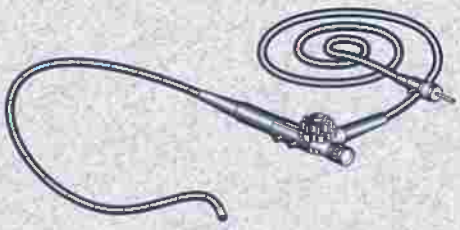
❶ الجراحة التنظيرية :
عملية في جوف بطن مريض افتراضي



❷ المناظير الدقيقة

ⓐ منظار دقيق صلب

ⓑ منظار دقيق مرن



❸ الجراحة التنظيرية

استئصال حصية بالتنظير، هناك منظار دقيق آخر يصور العملية وينقل هذه الصورة إلى شاشة.

الجراحة الأقل عدوانية

الليزر في الطب

يتميز الليزر (⟵ تجاه منابع الضوء التقليدية بالفوائد الآتية: النقاء الطيفي؛ أي أن ضوء الليزر له طول موجة ثابت، والتوازي في الأشعة؛ لذلك فهو جيد في التركيز البؤري (قابل للإصدار في حزم)، كما يتميز بتوليد نبضات قصيرة غنية بالطاقة. بذلك فهو مناسب جداً للاستخدامات الطبية. يستخدم الليزر بالدرجة الأولى في مجالات الجراحة وطب العيون ومعالجة الأورام والأمراض النسائية والبولية والجلدية وطب الأنف والأذن والحنجرة. يستخدم في الطب ليزر الغازات وليزر الأجسام الصلبة على السواء. من حيث المبدأ يجب عند كل استخدام لليزر البيان عن مدى جدوى استخدامه وعن المضاعفات المصاحبة له بالمقارنة مع الطرق التقليدية.

آليات تأثير أشعة الليزر الطبيّة ❶

في الطب يستخدم تأثير أشعة الليزر المعتمدة على انعكاسها وانكسارها وبالأخص على انتثارها وامتصاصها (تَغَلغُلها) داخل النسيج الحيوي. يمكن تفنيد الأثر الامتصاصي حسب شدة الأشعة وزمن تأثيرها (الشكل ١). إن الأثر الحراري الذي يتسبب في تسخين النسيج هو الأكثر استخداماً في الطب الليزري. بدءاً من الدرجة ٦٠°م صعوداً يحدث تموّت الخلايا وتجلّط الزّلال (التخثر). هذا الأثر يمنع النزيف ويضمن التئاماً طاهر (عقيماً) للجرح. عند الدرجة ١٠٠°م يحدث تجفيف النسج بسبب تبخّر الماء، وعند درجات الحرارة الأعلى تتفحم النسج، وفوق ٣٠٠°م تزول نهائياً بالتصعيد. إن تحرك شعاع ليزر من هذا النوع يحدث جرحاً في النسيج. تحتاج عمليتا التبخر والتصعيد إلى شدة إشعاع عالية لكنهما تُنجزان في زمن أقصر من زمن عملية التخثّر. هناك أثر امتصاصي آخر هو الاستئصال Ablation إذ يتحول النسيج المعرَّض للأشعة عن طريق نبضات عالية الاستطاعة إلى الحالة الغازيّة، فيتبخّر ويزول. ومن الآثار الامتصاصية هناك التمزق (التفتيت

(Disruption، الذي يحدث عن شدة أعلى للأشعة. تؤدي هذه الشدة المرتفعة إلى انفصال الإلكترونات عن الذرّات، بذلك تنشأ بلازما متمددة (مزيج من الإلكترونات الحرّة والشوارد الموجبة والجزيئات المحايدة لغاز ما)، هذه بدورها تولّد موجة ضغط يمكن أن يصل مطالها حتى ٦٠٠ بار. تُعَدّ البلازما وموجة الضغط مناسبتين لتحطيم المواد القاسية (Stobwellenlithotropsie ←). ومن الآثار الامتصاصية أيضاً التفاعل الفوتوكيميائي وفيه تُستخدم الأشعة الضعيفة لإطلاق التفاعلات الكيميائية في النسيج.

يتعلق الامتصاص بطول الموجة ونوع النسيج. وكلما ازداد الامتصاص كلما انخفض عمق تغلغل الأشعة وكلما ارتفاع التأثير ضمن حجم محدد. يتم اختيار طول الموجة وشدة الأشعة الليزرية بحسب نوع النسيج وعمق التغلغل المطلوب.

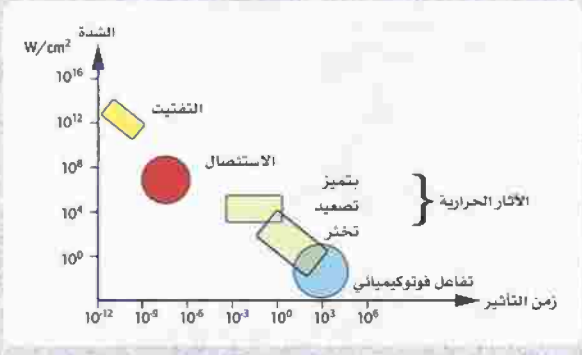
الجراحة الليزرية ❷

يعتمد قطع النسيج بشعاع ليزري على الأثر الحراري أو على الاستئصال. من أنواع ليزر الجراحة الشائعة هناك ليزر CO_2 (ثاني أوكسيد الفحم)، لأن عمق تغلغله ضئيل لذا فهو يسبب جرحاً دقيقاً، يبلغ عمقه بحسب الاستطاعة والسرعة حتى ١٠ ملمترات. ينشأ حول الجرح منطقة تخثر تعمل على التئامه. يظهر الشكل (٢-آ) نظام نموذجي لليزر ثاني أوكسيد الفحم. ويتألف من جهاز الوصل إلى الشبكة وقارورات تخزين غاز الليزر وأنبوب إصدار الليزر الفعلي مع التبريد المائي والذراع المفصلي ذو المرايا لتوجيه الشعاع ومن الممسك اليدوي (الشكل ٢-ب) ومفتاح التشغيل القدمي وحاسوب مع تجهيزات الخدمة. يُولّد شعاع الليزر في أنبوبه الليزر، ثم يوجّه إلى الممسك اليدوي عبر الذراع المفصلي ذي المرايا. يتم تعيير استطاعة الليزر وعرض النبضة بواسطة تجهيزات الخدمة. بما أن الأشعة تحت الحمراء لليزر CO_2 غير مرئية، يرسل معها على التوازي شعاع أحمر لليزر - هليوم - نيون ضعيف.

الليزر في طب العيون ❸

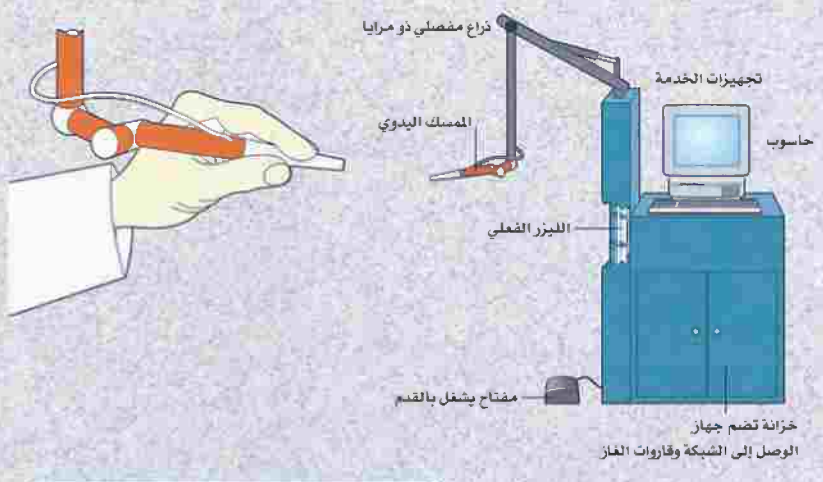
يتألف نظام الليزر المستخدم في طب العيون من ثلاث مراحل للأشعة: في المرحلة الأولى يصل إلى العين ضوء تقليدي، ويراقب الطبيب في المرحلة الثانية العين المضاءة من الداخل، وفي الثالثة يوصل منبع الليزر الفعلي مرسلاً أشعته موازية للأشعة الأولى أو الثانية. بمساعدة الليزر يمكن على سبيل المثال تحاشي انحسار الشبكية وظهور الأدمه محلها. من أجل ذلك يتم رتق نسيج الشبكة في النقاط التي بدأت بالانحسار بواسطة تخثير نقاط كثيرة صغيرة من الأدمة (الشكل ٣). كما يمكن بواسطة تقنية الليزر معالة الماء الأبيض، الذي يؤدي إلى تعكير عدسة العين وتصلبها، إذ يتم تدمير العدسة المتصلبة بالاستئصال، وتستبدل بها عدسة اصطناعية.

❶ الأثر الامتصاصي عند تعرض النسج الحية لأشعة الليزر



❷ ⓐ نظام ليزر - CO2 للجراحة

ⓑ الممسك اليدوي



❸ استخدام الليزر في طب العيون (نموذج)

الليزر في طب العيون