١٠٣

القياس الطبي اللاسلكي عن بعد: مناقشة قضية التداخل و الخدمة الجديدة للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد

Wireless Medical Telemetry: Addressing the Interference Issue and the New Wireless Medical Telemetry Service (WMTS)

Donald Witters
Physicist, FDA, Center for Devices and Radiological Health, Rockville, MD

Caroline A. Campbell
ARAMARK/Clarian Health Partners, Indianapolis, IN

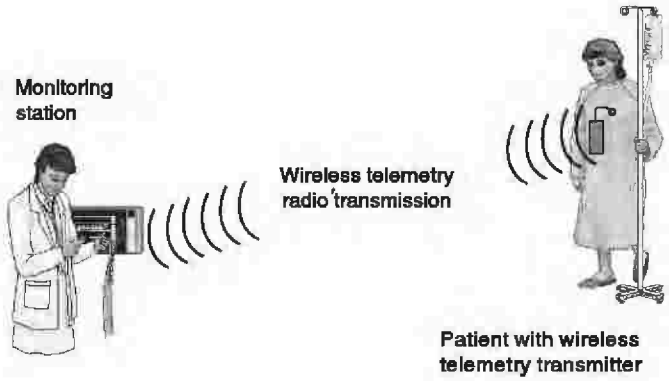
يتوسع استخدام القياس الطبي اللاسلكي عن بعد في المستشفيات كأحد الطرق المساعدة في تلبية التزايد المتواصل في تكاليف الرعاية الصحية. وكما يَعرف مستخدمي الأجهزة الطبية من تجربتهم فإن إشارات الراديو المنقولة من المريض إلى محطة المراقبة تكون عرضة للتدخل الكهرومغناطيسي (EMI) والذي يمكن أن يُشكل خطراً حقيقياً على المرضى الذين تتم مراقبتهم. إذا تم التداخل مع هذه الإشارات أو إذا فُقدت في الوقت الذي يعاني فيه المريض من حالة صحية سيئة جداً (مثل عدم انتظام القلب) فيمكن للاستجابة الطبية أن تتأخر ومن المحتمل أن تؤدي إلى عواقب خطيرة على المريض. نظراً لأهمية هذه الإشارات واحتمال حدوث EMI مع هذا النقل الحيوي المهم فقد التقت كل من إدارة الغذاء والدواء ولجنة الاتصالات الفدرالية (FCC) والشركات المصنعة للأجهزة الطبية ومجتمع الرعاية الصحية لبحث مسألة الـ EMI مع القياس الطبي اللاسلكي عن بعد ووضع الحلول لتقليل المخاطر التي يتعرض لها المرضى بسبب الـ EMI. ولقد توجت هذه الجهود في إنشاء خدمة جديدة للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد (WMTS) (مع طيف تردد وتنسيق منفصلين) تهدف إلى الحد من مخاطر الـ EMI على الإشارات الحيوية المقاسة عن بعد للمرضى من مُرسلات ترددات الراديو الأخرى العاملة في نفس نطاقات الترددات.

إن الغرض من هذا الفصل هو تقديم ملخص وجيز عن مشاكل الـ EMI على القياس الطبي اللاسلكي التقليدي عن بعد والمُستخدم على نطاقٍ واسع في المستشفيات والعيادات، كما يهدف إلى تزويد المهندسين

الإكلينيكيين بالمعلومات التي يمكن استخدامها لتقييم الوضع الخاص بهم وتنفيذ الحلول للحد من مخاطر الـ EMI. سوف يتناول هذا الفصل بإيجاز المخاوف بشأن الـ EMI مع الأجهزة الطبية وما تم القيام به لمعالجة هذه المخاوف. سوف يُسلط هذا الفصل الضوء على إنشاء الـ WMTS الجديدة وسوف يُبين الحاجة إلى إجراء تقييمات فورية لتجهيزات القياس الطبي عن بعد وخطط لمعالجة التغيرات المقبلة في المجالات الهوائية حيث يُستخدم القياس الطبي اللاسلكي عن بعد. يتحدث المقطع الأخير من هذا الفصل عن وسائل تقييم مخاطر الـ EMI. من المرجح أن تكون كل مستشفى وكل حالة مختلفة عن الأخرى الأمر الذي يتطلب معرفة بالوضع المحلي (مثل عدد قنوات القياس عن بعد المستخدمة أو المخطط لها) والمخاطر وغيرها من العوامل التي عادة ما تظهر مع التغييرات التكنولوجية الكبرى.

إن التغيرات السريعة في الطيف الراديوي الذي عمل فيه تقليدياً القياس الطبي عن بعد يجعل من المحتم أن تُغير المستشفيات والعيادات نهجها لأنظمة القياس الطبي عن بعد من أجل تقليل نقاط الضعف والمخاطر الناجمة عن الـ EMI. كما يجب النظر في مسألة الـ EMI مع القياس اللاسلكي عن بعد باعتبارها جزءاً من الصورة الكاملة للـ EMI مع الأجهزة الطبية. سوف لن يزيل التغيير البسيط للقياس اللاسلكي عن بعد الخطر الذي يمثله الـ EMI على الأجهزة الطبية الحساسة الأخرى. في الوقت الذي تتغير فيه التكنولوجيا الطبية وتكنولوجيا الاتصالات بسرعة فإن المُستخدِم الإكلينيكي يواجه خيارات عديدة بشأن نشر التكنولوجيا اللاسلكية وغيرها من المُرسلات الراديوية في منشآته والتي يجب أن تكون متوازنة مع اعتبارات الأجهزة الطبية الأخرى في المنشأة التي هي عرضة للـ EMI. فقط من خلال الفهم الأساسي لتعقيدات الـ EMI مع الأجهزة الطبية ومن خلال السعي نحو التوافق الكهرمغنطيسي (EMC) يمكن للمهندس الإكلينيكي البدء في تقدير المخاطر ذات الصلة وسبل اتخاذ الإجراءات التي تقلل من هذه المخاطر (Witters، ١٩٩٧ — Witters and Silberberg، ١٩٩٧). في النهاية، يجب على جميع منشآت الرعاية الصحية أن تبدأ في التعامل مع وعد التكنولوجيا اللاسلكية وتزايد مخاطر الـ EMI على سلامة المرضى.

يُعتبر القياس الطبي اللاسلكي عن بعد في استخدامه الواسع اليوم وسيلة بسيطة نسبياً للحفاظ على المراقبة الفيزيولوجية للمرضى بينما يُسمح لهؤلاء المرضى بالتحرك بحرية من دون أسلاك توصل المريض إلى جهاز مراقبة ثابت مما يساعد على سرعة شفائهم وبالتالي خفض التكاليف. يوضح الشكل رقم (١٠٣.١) التكوين الأساسي للقياس اللاسلكي عن بعد حيث يتكون من مُرسل راديوي صغير محدود المجال مرافق للمريض يقوم بإرسال البيانات الفيزيولوجية في الزمن الحقيقي إلى محطة مراقبة مركزية. إن كل عنصر من العناصر (الحساس الفيزيولوجي والمُرسل الراديوي المرفقين للمريض والإشارة الراديوية وجهاز المراقبة المركزية) هو عرضة للـ EMI. إلا أنه وبسبب التغييرات في المجالات الهوائية الراديوية والمخصصات المستخدمة في النقل الراديوي وزيادة استخدام روابط النقل الراديوي "اللاسلكية" في محيط المستشفى وبداخلها، فإن قاعدة القياس اللاسلكي عن بعد المُثبتة حالياً هي عرضة لخطر الـ EMI لدرجةٍ أكبر من أي وقتٍ مضى.



الشكل رقم (١٠٣,١). مكونات نموذجية لنظام قياس لاسلكي عن بعد.

اهتمامات التدخل الكهرومغناطيسي والسعي نحو التوافق الكهرومغناطيسي
Concerns for EMI and the Drive toward EMC

من أجل فهم الدافع نحو التوافق الكهرمغنطيسي (EMC)، والذي هو أساساً عكس EMI، يجب أن يكون لدى القارئ فهماً أساسياً لهذه المصطلحات والطرق التي ترتبط بها مع الأجهزة الطبية. إن الـ EMI هو تعطيل وظيفة الجهاز الطبي بسبب الطاقة الكهرومغناطيسية (EM) والتي يمكن أن تأخذ أي شكل من الأشكال التالية:

- إشعاع تردد راديوي (RF) (مثل بث الإذاعة والتلفزيون والرادار والهواتف الخلوية).
- الطاقة الكهربائية الموصَّلة (مثل الاندفاع الكهربائي والارتخاء والتوافقيات وإشارات الترددات العالية التي يمكن أن تُحرَّض في المساري وأن تصل إلى الجهاز).
- تفريغ الكهرباء الساكنة (مصل البرق وتفريغ الكهرباء الساكنة التي يمكن أن يحملها الأشخاص على أجسادهم إلى كمون منخفض الجهد على الجهاز الطبي).

يمكن لكل شكل من أشكال طاقة الـ EM (بمفرده أو بالاشتراك مع الأشكال الأخرى) أن يحدث خللاً في الأجهزة الطبية. في حالة إشعاع التردد الراديوي، فإن التهديد من المُرسلات المتعددة يمكن أن يؤدي إلى حالات أكثر تعقيداً والتي قد تكون جامعة أو طارحة (Additive or Subtractive). بالإضافة إلى البث المتعمد من المُرسلات المختلفة، فإن التيارات الكهربائية التي تتدفق خلال الموصل تقوم بتحريض مجالات كهربائية ومغناطيسية. ومن ثم، تقوم جميع الأجهزة الطبية التي تعمل بالطاقة الكهربائية وكذلك جميع المنتجات والأنظمة التي تعمل بالطاقة الكهربائية بإحداث إنبعاثات تُزيد من احتقان طاقة الـ EM في البيئة.

إن مجالي القلق الرئيسيين لـ EMC في الأجهزة الطبية هما: (١) انبعاثات الجهاز وتأثيرات هذه الانبعاثات على الأجهزة الأخرى، (٢) الحصانة من (أو على العكس القابلية لـ) طاقة الـ EM المتوقعة في البيئة التي يتم فيها

استخدام الأجهزة الطبية. إن المفتاح للـ EMC هو تقليل الانبعاثات وتحقيق أقصى قدر من الحصانة. يتفاعل هذين المجالين في معظم الحالات مع بعضهما البعض. عن طريق تقليل الانبعاثات بالتصميم والتدريع السليمين فإن قابلية التعرض تتغير كما تتحسن الحصانة من الـ EMI. إن النقطة الرئيسية التي يجب تذكرها هي أن كل من الانبعاثات والحصانة هما أجزاء مهمة من الاندفاع نحو الـ EMC للأجهزة الطبية. تتضمن الـ AAMI TIR 18-1997 (إرشادات بشأن التوافق الكهرومغناطيسي للأجهزة الطبية من أجل المهندسين الإكلينيكيين/المهندسين الطبيين الحيويين- الجزء ١ : الطاقة الكهرومغناطيسية التي يتم إشعاعها بالترددات الراديوية) لمحة عامة ممتازة عن اهتمامات الـ EMI للأجهزة الطبية وطرق معالجة هذه الاهتمامات للمهندس الطبي الحيوي/الإكلينيكي (AAMI، ١٩٩٧). تحتوي سلسلة بيئة الرعاية لـ JCAHO (EC/PTSM Series NO. 2) على العديد من المقالات في هذا المجال. أيضاً، انظر إلى (Geddes، ١٩٩٨) للحصول على أمثلة عن الـ EMI في الأجهزة الطبية وإلى (Kimmel and Gerke، ١٩٩٥) من أجل لمحة عامة جيدة عن EMI/EMC في الأجهزة الطبية وعن كيفية تصميم وبناء واختبار التجهيزات من أجل الحصانة من طاقة الـ EM الأكثر شيوعاً.

المركز الثانوي التقليدي للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد

Traditional Secondary Status of Wireless Medical Telemetry

لقد عمل القياس الطبي اللاسلكي عن بعد بشكلٍ جيد لسنواتٍ عديدة كمستخدمين ثانويين لطيف الترددات الراديوية بين القنوات عالية القوة لخدمة الراديو المتنقل البري الخاص (PLMRS) وعلى قنوات التلفزيون المحلية الشاغرة. وفقاً لقواعد لجنة الاتصالات الفدرالية (FCC)، يجب على مُستخدمي القياس الطبي عن بعد (كمستخدمين ثانويين للطيف) أن يتقبلوا تدخل الـ EMI ولكن عليهم أن لا يتسببوا بـ EMI لمستخدمي الطيف الأساسيين المرخصين (البث التلفزيوني على سبيل المثال). بشكلٍ عام، تُشكل طاقة الخرج الراديوية المنخفضة للقياس الطبي عن بعد تهديداً قليلاً للبث عالي الطاقة، وللعديد من السنوات كانت هناك أعداد كافية من قنوات الـ PLMRS منخفضة الطاقة وقنوات تلفزيونية غير مستخدمة (لأن البث التلفزيوني التناظري القديم تطلّب طيفاً شاغراً بين القنوات). ومن ثم فإن للبث التلفزيوني للمسلسلات حول المستشفيات له حقوق في استخدام المجالات الهوائية أكثر من حقوق المستشفى في نقل الإشارات الحيوية من المرضى الحقيقيين.

إلا أنه مع قدوم العصر الرقمي في أوائل ثمانينيات القرن الماضي والتغير المستمر وزيادة الاحتياجات للطيف الراديوي، فقد تراجعت القنوات والترددات المتاحة التي يمكن أن يعمل بها القياس الطبي عن بعد بشكلٍ كبير. وقد استخدمت التكنولوجيا الطبية (في نفس الحيز الزمني) وبشكلٍ متزايد تحسينات الاتصالات لتسريع تقديم الرعاية الطبية. وهذا ما وَضَعَ عالمي الطب والاتصالات على مسار تصادمي مع تقييد القياس الطبي عن بعد لمركزٍ ثانوي لاستخدام المجالات الهوائية الراديوية بينما تهرع صناعة الاتصالات لتلبية الطلب المتزايد باستمرار.

لقد عُرفت مشاكل الـ EMI مع القياس الطبي اللاسلكي عن بعد والمخاوف بشأن تغيير الطيف الراديوي منذ وقت طويل (Pettijohn و Larsen، ٢٠٠١ — FCC، ١٩٩٩). قامت في عام ١٩٩٤ مجموعة من مصنعي تجهيزات القياس الطبي اللاسلكي عن بعد بتقديم التماس إلى الـ FCC للسماح للقياس الطبي عن بعد باستخدام المزيد من الترددات. وبدعمٍ من الـ FDA فقد أعطت الـ FCC في عام ١٩٩٧ للقياس الطبي عن بعد القدرة على الاستخدام الثانوي للقنوات التلفزيونية الشاغرة ١٤ حتى ٦٩ (٤٧٠ ميغاهيرتز - ٨٠٦ ميغاهرتز). لقد وسَّع ذلك ترددات الاستخدام للقياس الطبي عن بعد والتي كانت مقتصرة على قنوات التليفزيون الشاغرة من ٧ - ١٣ (١٧٤ ميغاهرتز الى ٢١٦ ميغاهرتز). ومع ذلك، فإنه لم يتم الإدراك الكامل لحجم مشكلة الـ EMI مع القياس الطبي اللاسلكي عن بعد إلا بعد البث التجريبي الأولي للتلفزيون الرقمي الجديد (DTV) في أوائل عام ١٩٩٨.

أظهر المسح الذي قامت به الجمعية الأمريكية لهندسة الرعاية الصحية (McClain، ٢٠٠٢) لعدة مئات من المستشفيات أن ما يقرب من ٤٠ ٪ من القياس الطبي اللاسلكي عن بعد المستخدم في الولايات المتحدة يستخدم القنوات التليفزيونية الشاغرة لحمل الإشارات الراديوية من المريض إلى جهاز المراقبة. بينما تبين أن حوالي ٦٠ ٪ يستخدمون الـ PLMRS في مجال التردد ٤٥٠ ميغاهرتز إلى ٤٧٠ ميغاهرتز. كما تبين استخدام عدد قليل من المستشفيات لتجهيزات تعمل في ترددات أخرى مثل الحزم الصناعية والعلمية والطبية (ISM) المتمركزة حول المجال ٩١٥ ميغاهرتز إلى ٢٤٥٠ ميغاهرتز. يُلخص الجدول رقم (١٠٣,١) مختلف الترددات التي يمكن للقياس الطبي عن بعد أن يعمل فيها. إن لمعظم حزم الطيف الراديوية المُستخدمة من أجل القياس الطبي اللاسلكي عن بعد قيود وحدود على هذا الإرسال، كما يجري تغيير بعض هذه الحزم بطرق تُزيد بشكلٍ كبير من ضعف أنظمة التجهيزات الحالية أمام الـ EMI من المُرسلات الأخرى في الحزمة.

الجدول رقم (١٠٣,١). ترددات تشغيل القياس الطبي اللاسلكي عن بعد

حزمة التردد	حالة الاستخدام	خرج الطاقة	القيود	أحدث التغييرات
قنوات تلفزيونية: ١٧٤- ٢١٦ ميغاهرتز (القنوات ٧-١٣)	ثانوية	١٥٠٠ ميكروفولت/متر على مسافة ٣ متر الإرسال محدود على حزمة بتردد ٢٠٠ كيلوهرتز	قنوات شاغرة	ليس هناك أي موافقات جديدة من الـ FCC بعد أغسطس ٢٠٠٢
خدمة الراديو منخفضة الطاقة (LPRS): ٢١٦- ٢١٧ ميغاهرتز	ثانوية	١٠٠ ميلي واط	يجب على أجهزة الإرسال القريبة التنسيق مع جهة المراقبة Aricebo في Puerto Rico	

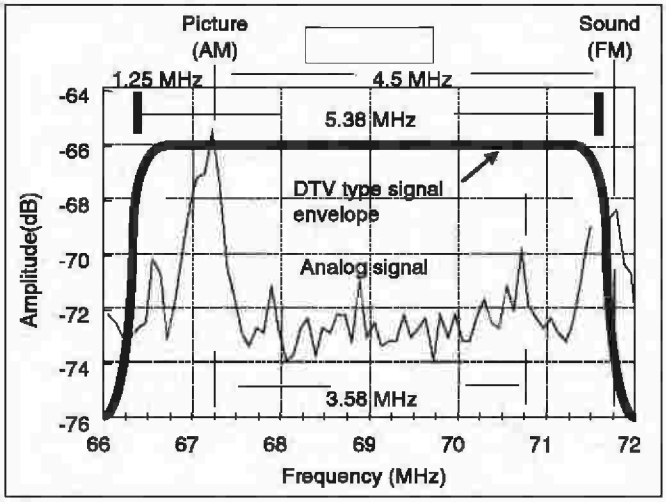
تابع الجدول رقم (١٠٣,١).

حزمة التردد	حالة الاستخدام	خرج الطاقة	القيود	أحدث التغييرات
قنوات تلفزيونية: ٤٧٠-٦٦٩ ميغاهرتز (القنوات ١٤-٤٦)	ثانوية	٢٠٠ ميلي فولت/متر عند ٣ متر	تُستخدم في أبنية ومواقع الرعاية الصحية، قنوات شاغرة، يُطلب التنسيق من أجل القناة ٣٧	ليس هناك أي موافقات جديدة من الـ FCC بعد أغسطس ٢٠٠٢
PLMRS: ٤٥٠-٤٧٠ ميغاهرتز	ثانوية	٢٠ ميلي فولت بدون ترخيص منفصل قد يحتاج الاستخدام منخفض الطاقة (أقل من ٢ واط) إلى ترخيص	استخدام محدود لقنوات الإزاحة، تتطلب ترخيص من أجل الاستخدام عالي الطاقة	ليس هناك أي موافقات جديدة من الـ FCC بعد أغسطس ٢٠٠٢. تم رفع التجميد على الاستخدام عالي الطاقة وتغييرات في عرض القناة ٤٥٠-٤٦٠ مغاهرتز في يناير ٢٠٠١، تم رفع التجميد على ٤٦٠-٤٧٠ ميغاهرتز في اغسطس ٢٠٠٣.
WMTS: ٦٠٨-٦١٤ ميغاهرتز	رئيسية	٢٠٠ ميلي فولت/متر عند ٣ متر العمل في حزمة بتردد أقل من ١,٥ ميغاهرتز	من المطلوب التسجيل لدى مُنسق التردد، يُطلب التنسيق بالقرب من البث الراديوي للرصد الفلكي	
WMTS: ١٣٩٥-١٤٠٠ ميغاهرتز ١٤٢٩-١٤٣٢ ميغاهرتز	رئيسية	٧٤٠ ميلي فولت/متر عند ٣ متر العمل في حزمة بتردد أقل من ١,٥ ميغاهرتز	WMTS هي رئيسية في جزء من هذه الحزمة في مناطق محددة	توقفت العمليات الحكومية في يونيو ٢٠٠٩ من أجل ١٣٩٥-١٤٠٠ ميغاهرتز، وفي يونيو ٢٠٠٤ من أجل ١٤٢٩-١٤٣٢ ميغاهرتز.
WMTS: ١٤٢٧-١٤٣٢ ميغاهرتز ٩٠٢-٩٢٨ ميغاهرتز ٢٤٠٠-٢٥٠٠ ميغاهرتز ٥٧٢٥-٥٨٥٠ ميغاهرتز	رئيسية/ ثانوية			

حوادث التلفزيون الرقمي DTV Incidents

أصبح التصادم بين قنوات البث المرخصة والقياس الطبي عن بعد واضحاً في مارس ١٩٩٨ عندما تم تعطيل نظام القياس الطبي اللاسلكي عن بعد في مستشفيين في Dallas بسبب اختبار البث التجريبي الأولي للـ DTV من

محطة تلفزيون محلية (FDA، ١٩٩٨). أدى العمل السريع من جانب كادر الهندسة الإكلينيكية وكادر التمريض في هذه المستشفيات إلى تجنب حالة المرضى غير الخاضعين للمراقبة. لحسن الحظ لم يتعرض أي مريض إلى السكتة القلبية أو إلى أي حالة خطيرة أخرى في وقت التداخل مع القياس اللاسلكي عن بعد. ذهب المهندسون الإكلينيكيون في أحدى هاتين المؤسستين (وهي مركز Baylor الطبي) إلى أبعد من ذلك حيث كانوا قادرين على تحديد مصدر المشكلة على أنه إشارة تلفزيونية تغطي تقريباً كامل القناة التي يستخدمها القياس عن بعد من أجل الإرسال. تتبع هؤلاء المهندسون الإشارات التلفزيونية واتصلوا مع محطة البث المحلية لطلب توقيف الإشارة (FDA، ١٩٩٨). يبدو واضحاً من الشكل رقم (١٠٣,٢) والذي يصور قناة تلفزيونية نموذجية (في العرض العادي ٦ ميغاهرتز للقناة) وإشارة DTV مثالية، أن إشارات الـ DTV تُغطى كامل طيف القناة دون أن تترك أي مجال للإشارات الراديوية منخفضة الطاقة في هذه الترددات. وكانت النتيجة أن القياس الطبي اللاسلكي عن بعد قد أُربك بإشارة الـ DTV على نفس القناة. ما دام أن ليس للقياس الطبي عن بعد حماية من بث الـ DVT "في الحزمة" فإنه وبكل بساطة سوف يتوقف عن توصيل معلومات المريض إلى تجهيزات المراقبة وكادر التمريض.



الشكل رقم (١٠٣,٢). قناة بث تلفزيوني ٦ ميغا هرتز نموذجية مغطاة بإشارة DTV .

إلا أن هذه الحوادث قد أوصلت الوضع إلى انتباه وتركيز الـ FCC وقنوات البث التلفزيوني التي أدركت وبوضوح احتياجات المرضى الحقيقيين. مع موافقة الولايات المتحدة على الـ DTV فقد فرضت الـ FCC ضرورة تخصيص قناة تلفزيونية إضافية من أجل الـ DTV لجميع هيئات البث التلفزيوني مع توقع التخلص التدريجي من التكنولوجيا التناظرية القديمة بحلول عام ٢٠٠٩. يعني ذلك أنه قد تبقّى لمستخدمي القياس الطبي عن بعد عدد أقل

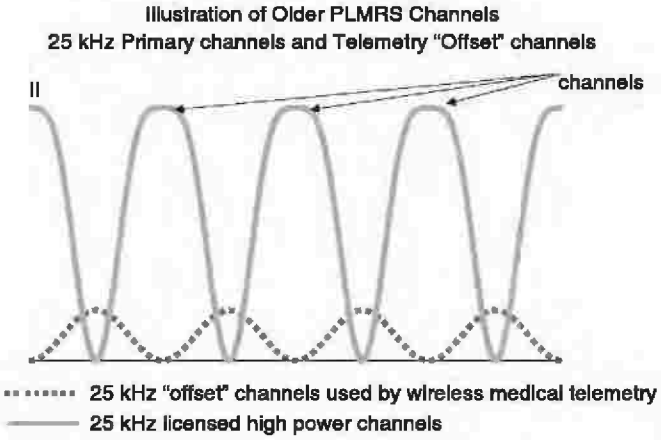
بكثير من القنوات التلفزيونية الشاغرة كما كان الوضع في السابق واحتمال الـ EMI من إشارات الـ DTV. يمكن الحصول على معلومات بشأن مخصصات الـ DTV على موقع الـ FCC : www.fcc.gov/healthnet/dtv. أصدرت الـ FDA تحذير سلامة (Safety Alert) موجه إلى المستشفيات والمستخدمين الإكلينيكيين للقياس الطبي عن بعد تنصحهم بالتنسيق مع هيئات البث التلفزيوني المحلية (FDA، ١٩٩٨). كما شرعت الـ FDA باجتماع مع جميع هذه الأطراف لتطوير الطرق التي يمكن أن تُعالج القضايا الفورية المتعلقة بالقياس الطبي اللاسلكي عن بعد بهدف وضع حلول طويلة الأمد بما في ذلك الترددات المحمية والمنفصلة والتنسيق. وبسبب القلق من استخدام القياس الطبي عن بعد في المستشفيات فقد أخذت جمعية المستشفيات الأميركية ("American Hospital Association, "AHA) زمام المبادرة من خلال تنظيم فريق مهام القياس اللاسلكي عن بعد بهدف وضع توصيات محددة من أجل الحلول.

اهتمامات بخصوص استخدام خدمة الراديو المتنقل البري الخاص للقياس عن بعد

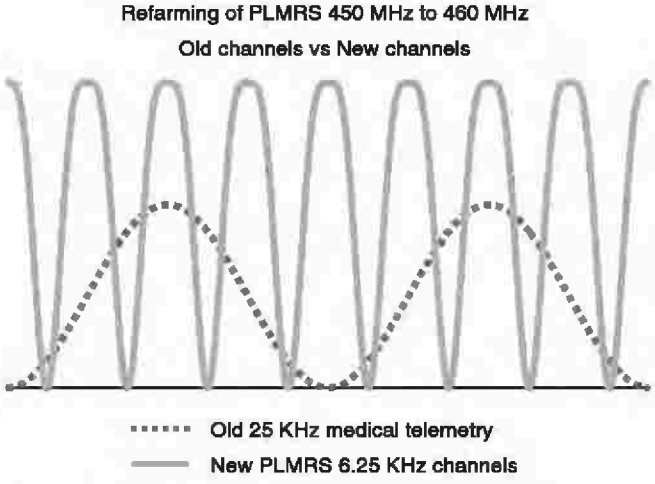
Concerns with Private Land Mobile Radio Service (PLMRS) Telemetry

من المعلومات الواردة في مسح ASHE لعام ١٩٩٨ عن القياس الطبي اللاسلكي عن بعد فإن ما يقرب من ثلثي القياس الطبي اللاسلكي عن بعد يعمل في نطاق التردد بين ٤٥٠ و ٤٧٠ ميغاهرتز كمُرسلات ثانوية منخفضة الطاقة (انظر الشكل رقم ١٠٣,٣). في الواقع فإن معظم المستخدمين يعملون في هذه الحزمة بين ٤٦٠ و ٤٧٠ ميغاهرتز. قررت الـ FCC في أواخر ثمانينيات القرن الماضي أن هذه الحزمة مزدحمة ويجب استصلاحها أو تغييرها للسماح لأعداد متزايدة من القنوات والمستخدمين. لقد غيرت الخطة (التي اعتمدت في عام ١٩٩٥) هذه الحزمة من القنوات الحالية ذات عرض الحزمة ٢٥ كيلوهرتز إلى قنوات ١٢,٥ كيلوهرتز مع كون الهدف النهائي الحصول على قنوات ذات عرض حزمة ٦,٢٥ كيلوهرتز. كما ألغت خطة استصلاح الـ PLMRS الترددات منخفضة الطاقة بين القنوات والتي تستخدمها معظم أنظمة القياس اللاسلكي عن بعد مما جعل كافة المستخدمين يتنافسون للحصول على القنوات عالية الطاقة ذات عرض الحزمة ٦ كيلوهرتز. سوف تسمح القنوات الأضيق جنباً إلى جنب مع البث الرقمي الأحدث للعديد من المستخدمين بالوصول إلى حزمة الـ PLMRS. إلا أنه من الواضح بموجب هذه الخطة أن جميع أنظمة القياس الطبي عن بعد العاملة في حزمة الـ PLMRS كانت على الفور عرضةً للـ EMI من أي عدد من المُرسلات الراديوية المتنقلة التي قد تستخدم تخصيصات جديدة. يوضح الشكلين رقمي (١٠٣,٣ و١٠٣,٤) سلسلة استصلاح حزمة الـ PLMRS من القنوات ذات عرض حزمة ٢٥ كيلو هرتز إلى القنوات ذات عرض الحزمة ١٢,٥ كيلوهرتز ثم إلى القنوات ذات عرض الحزمة ٦,٢٥ كيلوهرتز. قامت مجموعة من الشركات المصنعة للأجهزة الطبية وبسبب التضاربات المحتملة بتقديم التماس إلى الـ FCC لتأخير خطة استصلاح هذه الحزمة. لحسن الحظ فقد أدركت الـ FCC التضاربات المحتملة للقياس الطبي عن بعد وجمدت تنفيذ الاستصلاح. نظراً للنجاح في إنشاء خدمة القياس الطبي اللاسلكي عن بعد (WMTS) (انظر فيما يلي) فقد رفعت الـ FCC (بإعلانها في ٢٩ يناير ٢٠٠١) التجميد

المفروض على التطبيقات عالية الطاقة للقنوات ذات عرض الحزمة ١٢,٥ كيلوهرتز الجديدة في مجال التردد ٤٥٠-٤٦٠ ميغاهيرتز (FCC، ٢٠٠١).



الشكل رقم (١٠٣,٣). توضيح لإشارات PLMRS الراديوية ٤٥٠-٤٧٠ كيلوهرتز مع قياس طبي لاسلكي عن بعد في قنوات إزاحة.



الشكل رقم (١٠٣,٤). إشارات PLMRS ٦,٢٥ ميغاهرتز جديدة مستصلحة مع إشارات قياس طبي لاسلكي ٢٥ كيلوهرتز قديمة.

أصول خدمة القياس الطبي اللاسلكي عن بعد

(Origins of the Wireless Medical Telemetry Service (WTMS

نظر فريق مهام الـ AHA في مسائل القياس الطبي اللاسلكي عن بعد ووضع توصيات لمعالجة مجالات الاهتمام الرئيسية بما في ذلك:

- تعريف القياس الطبي اللاسلكي عن بعد.
- الاحتياجات الطبية للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد.
- الاحتياجات الهندسية واحتياجات الترددات الراديوية للقياس عن بعد.
- سبل لرفع مستوى الوعي وتثقيف المستخدمين.

وضعت نتائج أعمال فريق مهام الـ AHA تعريفاً واضحاً للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد والطرق التي تم اتباعها في استخدامه. يتم استخدام هذا التعريف من قبل الـ FCC في إنشاء الـ WMTS.

"وبذلك يُعرَّف القياس الطبي اللاسلكي عن بعد بأنه قياس وتسجيل البارمترات الفيزيولوجية والمعلومات الأخرى المتعلقة بالمريض عن طريق إشارات كهرومغناطيسية ثنائية أو أحادية الاتجاه. يمكن أن توجد هذه التكنولوجيا داخل منشآت الرعاية الصحية أو يمكن أن تتعداها إلى المباني أو المواقع الأخرى"(FCC، ٢٠٠٠).

قام فريق المهام بمسح العديد من مستخدمي المستشفيات ووجد أنه باستخدام التكنولوجيا الحالية (نقل ٠,٨ بت في الثانية لكل هرتز) فإن عمل ما يصل إلى ٥٠٠ مُرسل قياس عن بعد بشكلٍ متزامن ضمن منطقة جغرافية معينة يتطلب حداً أدنى من ترددات الطيف أكثر بقليل من ٦ ميغاهرتز. أشارت نتائج المسح إلى أن معظم استخدامات المراقبة اللاسلكية كانت لتخطيط القلب عند البالغين والمراقبة البارمترية ذات الـ ١٢ مسرى وقياس التأكسج النبضي وضغوط الدم الباضعة والتنفس (AHA، ١٩٩٩ — FCC، ٢٠٠٠). تم تخمين الاحتياجات المستقبلية للاستفادة من ما لا يقل عن ضعف هذا العدد من أجهزة الإرسال المتزامنة داخل المنطقة نفسها مما يتطلب بالتالي طيفاً لا يقل عن ١٢ ميغاهرتز.

كما قام فريق المهام بتحديد الأطياف المُرشحة (مع مساهمة من جانب أعضاء الـ FCC) وتقييمها لعدة عوامل ومنها: (١) احتياجات استهلاك الطاقة وطاقة المُرسل، (٢) التعرض للـ EMI، (٣) التلاشي متعدد المسارات، (٤) تأثيرات الترددات على البشر، (٥) عرض الحزمة المتوفر، (٦) تكاليف التجهيزات والصيانة، (٧) كفاءة الإشعاع. بلغت الترددات التي تم اختيارها كأفضل المرشحين ١٤ ميغاهرتز حيث وقعت في ثلاثة حزم تردد منفصلة: ٦٠٨ ميغاهرتز إلى ٦١٤ ميغاهيرتز (قناة تلفزيون ٣٧) و ١٣٨٥ ميغاهرتز إلى ١٣٩٠ ميغاهرتز و ١٤٣٢ ميغاهرتز إلى ١٤٣٥ ميغاهيرتز. سمح هذا التقييم التطلعي بالاتصالات ثنائية الاتجاه على ترددات منفصلة مما يفتح بذلك الاحتمال المستقبلي بمراقبة المرضى ومعالجتهم عن طريق الأجهزة الطبية المرفقة مع المريض. بالإضافة إلى ذلك فقد أدرك فريق المهام الحاجة المستمرة إلى تنسيق استخدام الترددات لتجنب التضارب داخل وخارج المستشفى. توجد في بعض المناطق الحضرية في مختلف أنحاء الولايات المتحدة العديد من منشآت الرعاية الصحية التي تقع على مسافة قصيرة من بعضهما البعض والتي تقوم باستخدام القياس الطبي عن بعد. يُشكل ذلك مشكلة خاصةً في شمال شرق

الولايات المتحدة حيث تتم مراقبة أكثر من ١٠٠٠ مريض بمسافة لا تزيد عن ميل واحد بين بعضهم. عادة ما تَستخدم الـ FCC منسق الترددات للإشراف على استخدام الأطياف المختلفة لترددات النقل الراديوي. وهكذا فإن التوصيات شملت على منسق تردد من أجل القياس الطبي اللاسلكي عن بعد.

خدمة القياس الطبي اللاسلكي عن بعد The Wireless Medical Telemetry Service (WTMS)

في الثامن من يونيو من عام ٢٠٠٠ اعتمدت الـ FCC تقرير ونظام "Report and Order ET" بخلاصته ٩٩-٢٢٥ بخصوص إنشاء الـ WMTS من أجل القياس الطبي اللاسلكي عن بعد (FCC، ٢٠٠٠). حصل القياس الطبي عن بعد بموجب الـ WMTS ولأول مرة على مرتبة المركز الرئيسي (primary status) كما حصل أيضاً على كل أنواع الحماية التنظيمية التي تتناسب مع هذه المرتبة. وهذا يعني أن محطات الإرسال الأخرى التي تتداخل مع تجهيزات الـ WTMS ستكون منتهكة لقواعد الـ FCC وقد تواجه العقوبات التنظيمية. بالإضافة إلى ذلك، سوف يتم الإشراف على الـ WMTS من قبل منسق تردد الـ WTMS والمسئول عن الحفاظ على قاعدة بيانات خاصة باستخدام هذه الترددات وتسهيل تشارك هذه الترددات بين مستخدمي المستشفى وبقية العمليات الحكومية في مواقع حكومية محمية. إن مُستخدمي الـ WMTS مرخصين بموجب القانون بحيث إنه لا حاجة لوجود التراخيص الفردية. وبدلاً من ذلك فمن المتوقع من مستخدمي الـ WMTS أن يشاركوا هذه الترددات وأن يستفيدوا من التنسيق ضمن مناطقهم المحلية. تشمل قائمة مستخدمي الـ WMTS المخوَّلين على كادر الرعاية الصحية المخوَّل ومنشآت الرعاية الصحية والفنيين المدربين تحت سيطرة منشآت الرعاية الصحية. وقد اختارت الـ FCC في تحديدها لمنشآت تقديم الرعاية الصحية على أنها بشكلٍ أساسي منشآت الرعاية التي تعمل ٢٤ ساعة في اليوم مع استثناءات محددة للاستخدام المنزلي أو المحمول.

خلافاً لاستخدام القياس اللاسلكي عن بعد للنقل المحصور فقد أوصى فريق مهام الـ AHA كما وافقت الـ FCC بأن يكون هناك مواصفات فنية محدودة وعدم حصر الـ WMTS. يفتح ذلك الـ WMTS لأنواع مختلفة من مخططات التعديل لحمل بيانات المريض المهمة كما يسمح باستخدام الإرسال ثنائي الاتجاه (أي من المريض إلى أجهزة المراقبة ومن ثم العودة الجهاز المرفق مع المريض). يُمكّن الحد الأدنى من القيود التقنية من نمو تكنولوجيا القياس الطبي عن بعد من خلال السماح (على سبيل المثال) لتكنولوجيات الاتصالات المتقدمة المُستخدمة في الاتصالات الخلوية لأن تُستخدم من أجل الـ WMTS. من خلال النظر تجاه التحديات المستقبلية فإن عدم وجود المواصفات التقنية يفتح الطريق نحو زيادة الاستخدام في حين أن ذلك يُشكل تحدي لمصممي ومستخدمي هذه الأنظمة للحفاظ على سلامة قوية للنظام.

لاحقاً لإنشاء الـ WMTS كانت هناك إجراءات للـ FCC أثرت في طيف الحزمة من ١٤٢٧ - ١٤٣٢ ميغاهرتز حيث يقع جزء من الـ WMTS (FCC، ٢٠٠٢). استخدمت شركات المرافق العامة على مر السنين نظام نقل راديوي

من شركة Itron في هذا الحزمة (كمستخدم ثانوي للتردد) وذلك لقراءة مقاييس المرافق عن بعد. في أعقاب مفاوضات بين AHA و Itron والـ FCC فقد تقرر أنه يمكن لـ WMTS و Itron وغيرهم من أنظمة القياس غير الطبي عن بعد أن يتشاركوا ترددات الحزمة. اكتسبت الـ WMTS في إطار الخطة النهائية مرتبة المركز الرئيسي في جزء من الحزمة ومرتبة المركز الثانوي في ما تبقى من الحزمة بحيث يُحدد الموقع الجغرافي التخصيص الرئيسي للـ WMTS.

"وبصفة عامة، تُمنح عمليات الـ WMTS مرتبة المركز الرئيسي على عمليات القياس غير الطبي عن بعد في المجال من ١٤٢٧ – ١٤٢٩,٥ ميغاهرتز ولكنها تعتبر ثانوية بالنسبة إلى عمليات القياس غير الطبي عن بعد في المجال من ١٤٢٩,٥ – ١٤٣٢ ميغاهرتز. عكست عمليات الـ WMTS والقياس غير الطبي عن بعد الحزم التي تتمتع فيها بمرتبة المركز الرئيسي في سبع مناطق جغرافية. إن هذه المناطق السبع (والتي وصفت بمجالات "النحت التدريجي" Crave-out) هي: (١) مدينة Pittsburgh في ولاية Pennsylvanian، (٢) العاصمة Washington Dc، (٣) مدينة Richmond/Norfolk في ولاية Virginia، (٤) مدينة Austin/Georgetown في ولاية Texas، (٥) مدينة Battle Creek في ولاية Michigan، (٦) مدينة Detroit في ولاية Michigan، (٧) مدينة Spokane في ولاية WI. تتمتع الـ WMTS في هذه المناطق السبعة (خلافاً لبقية الولايات المتحدة) بمرتبة المركز الرئيسي في المجال من ١٤٢٩ – ١٤٣١,٥ ميغاهرتز ولكنها تكتسب المركز الثانوي بالنسبة لعمليات القياس غير الطبي عن بعد في المجال من ١٤٢٧ – ١٤٢٩ ميغاهرتز (موقع الويب لـ FCC WMTS، ٢٠٠٣)".

فيما يلي إدراج للسمات الرئيسية للـ WTMS.

استخدام خدمة القياس الطبي اللاسلكي عن بعد Use of WMTS:

من قِبَل منشآت ومهنيي الرعاية الصحية المُرخصين بقوانين الـ FCC.

حزم الترددات والمواصفات الفنية Frequencies bands and technical specifications

من ٦٠٨ – ٦١٤ ميغاهرتز، شدة حقل عظمى ٢٠٠ ميلي فولت/متر على مسافة ثلاثة أمتار.

من ١٣٩٥ – ١٤٠٠ ميغاهرتز، شدة حقل عظمى ٧٤٠ ميلي فولت/متر على مسافة ثلاثة أمتار.

من ١٤٢٩ – ١٤٣٢ ميغاهرتز، شدة حقل عظمى ٧٤٠ ميلي فولت/متر على مسافة ثلاثة أمتار (انظر إلى فقرة "قيود الاستخدام" فيما يلي للاطلاع على القيود الهامة لاستخدام هذه الحزمة).

- يُسمح بالنقل الأحادي والثنائي الاتجاه.
- لا يُسمح بالصوت والفيديو (لا تعتبر أشكال الموجات الفيزيولوجية بمثابة فيديو).
- القيود المفروضة على الانبعاثات خارج الحزمة:
  - الحزم من ١٣٩٥ – ١٤٠٠ ميغاهرتز ومن ١٤٢٩ – ١٤٣٢ ميغاهرتز: لم يُحدد أي توجيه.

- الحزمة من ٦٠٨ – ٦١٤ ميغاهرتز (قناة التلفزيون ٣٧): إلى لهذه الحزمة قيود على تكنولوجيات الطيف المنتشر وقيود على تخصيص القنوات بحيث لا يمكن لأي منشأة الحصول على استخدام حصري للترددات. إن العمليات في حزمة القناة التلفزيونية هذه ليست محمية من تدخل الحزم المتاخمة من القنوات التي هي أعلى وأدنى من القناة التلفزيونية هذه.

قيود الاستخدام **Limitations of Use**

- يُقيَّد استخدام الحزمة من ١٣٩٥ – ١٤٠٠ والحزمة ومن ١٤٢٩ – ١٤٣٢ ميغاهرتز في بعض المواقع الجغرافية بسبب استمرار الاستخدام الحكومي وترتيب خطة الحزم مع المستخدمين الآخرين للحزمة من ١٤٢٧ – ١٤٣٢ ميغاهرتز. سوف يتم التخلص من القيود المتعلقة بالحكومة في عامي ٢٠٠٩ و ٢٠٠٤ اعتماداً على الحزمة.
- يقتصر استخدام الحزمة من ٦٠٨ – ٦١٤ ميغاهرتز على مسافة ٨٠ كيلومتراً من المراصد الفلكية الراديوية الحساسة المذكورة في تقرير ونظام الـ FCC (FCC، ٢٠٠٠). يجب وجود موافقة مكتوبة وتنسيق للترددات بالقرب من هذه المراصد.
- في الحزمة من ١٤٢٧ – ١٤٣٢ ميغاهرتز فإن للـ WTMS على العموم مركزاً رئيسياً في المجال من ١٤٢٧ – ١٤٢٩,٥ ومركزاً ثانوياً في المجال من ١٤٢٩,٥ – ١٤٣٢ ميغاهرتز إلا في بعض المواقع الجغرافية المعينة حيث عُكست المراكز الرئيسية والثانوية. انظر موقع الـ FCC على الويب: http://wireless.fcc.gov/services/personal/medtelemetry/

مُنسق التردد: Frequency Coordinator

- الترددات أو المجال المُحدد المُستخدَم.
- المعلومات المطلوبة من قبل المنسق.
- جمعية المستشفيات الأميركية (AHA) والجمعية الأمريكية لهندسة الرعاية الصحية بصفتهما منسقاً للتردد.
- مخطط التعديل المُستخدَم وعرض الحزمة المُستخدَم.
- الطاقة الفعالة التي يتم إشعاعها.
- عدد محطات الإرسال في المنشأة ورقم الشركة المصنعة ورقم الطراز لهذه المحطات.
- اسم مُزود الرعاية الصحية.
- موقع المُرسِل (الإحداثيات وعنوان الشارع).
- نقطة الاتصال لمزود الرعاية الصحية المُرخَّص.

ترددات أخرى للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد Other Wireless Medical Telemetry Frequencies

يُسمح للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد بالعمل في ترددات أخرى بما في ذلك حزم الـ ISM (٩١٥ ميغاهرتز و ٢٤٥٠ ميغاهرتز). كانت حزم الـ ISM موجهة لاستخدام المنتجات والأجهزة الصناعية أو الطبية أو العلمية التي تستخدم طاقة الترددات الراديوية في عملها. تشمل الأمثلة على هذه المنتجات أفران الميكروويف وتجهيزات اللحام بالترددات الراديوية وبعض الرادارات وأجهزة العلاج الطبية بالإنفاذ الحراري. بسبب قلة القيود التقنية للتجهيزات الموجودة في هذه الحزم وانخفاض تكلفة مكونات الإرسال في هذه الحزم فإن كميةً متزايدة من تجهيزات الاتصالات قد انتقلت إلى هذه الترددات. إلا أن حزم الـ ISM وخصوصاً الحزم العالية المذكورة آنفاً سرعان ما شُغِلت بأعداد كبيرة من المستخدمين مثل الهواتف المحمولة والشبكات المحلية اللاسلكية. يجب أن تكون التجهيزات العاملة في هذه الحزم قوية وقادرة على الصمود في وجه الـ EMI الكبير من المُرسلات الأخرى في الحزمة. من المعروف بشكلٍ جيد على سبيل المثال أن أفران الميكروويف (واسعة التعديل في كامل حزمة الـ ISM التي تعمل فيها) تُسبب تداخلاً (Buffler و Risman، ٢٠٠٠). ومع ذلك، إذا كانت التجهيزات قوية بما فيه الكفاية فقد تكون قادرة على العمل بشكلٍ مقبول في معظم بيئات استخدام القياس الطبي عن بعد. يجب على المُستخدمين (من معرفة أن هناك مخاطر EMI مع القياس الطبي اللاسلكي) أن يُجروا تقييم المخاطر الخاص بهم وكذلك وضع خطتهم الإستراتيجية لتصميم وتكوين نظام القياس الطبي اللاسلكي عن بعد الخاص بهم بحيث يتم تقليل مخاطر EMI إلى الحد الأدنى. أدركت الـ FDA الحاجة إلى معالجة هذه المخاطر حيث أصدرت وثيقة توجيهية إلى صناعة الأجهزة طبية مع توصيات لتقييم ومعالجة هذه المخاطر بما في ذلك مساعدة مجتمع مستخدمي الأجهزة (FDA، ٢٠٠٠).

تقييم مخاطر التدخل الكهرومغناطيسي على منشآت الرعاية الصحية

EMI Risk Assessment for Health care Facilities

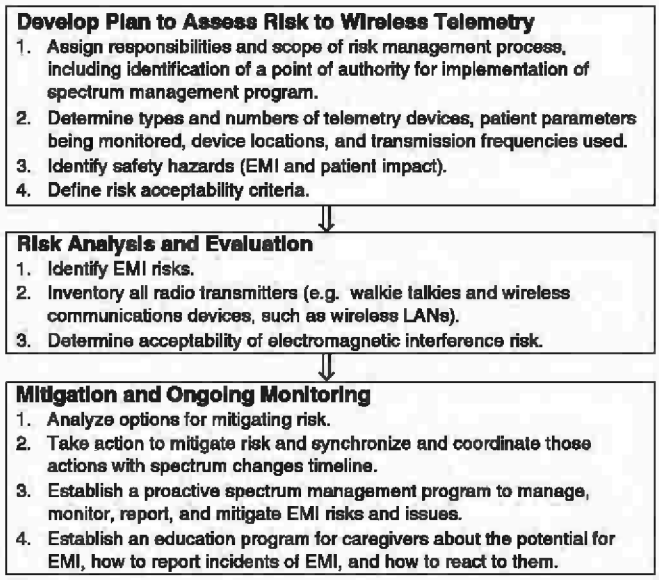
أصبح من الممكن مع إنشاء الـ WMTS تقليل المخاطر المترافقة مع المراقبة اللاسلكية للمريض بشكلٍ كبير. على النحو الموصى به من قبل الـ FDA فإن الشركات المصنعة للأجهزة الطبية ومجتمع المستخدمين (المستشفيات بشكلٍ رئيسي) بحاجة إلى تقييم أنظمة القياس عن بعد الخاصة بهم بخصوص مخاطر التداخل الكهرومغناطيسي، وعليها إذا اقتضى الأمر اتخاذ الإجراءات المناسبة لتقليل تلك المخاطر. تُركز التوصيات لمستخدمي أنظمة القياس عن بعد بضرورة المراجعة على المستوى المؤسسي. يجب على المؤسسة أن تُوازِن عوامل التشغيل مثل تكلفة تغيير أو استبدال نظام القياس عن بعد مقابل مخاطر تضرر المرضى.

تستند إحدى طرق تشكيل القرار المتعلق بتغيير أو استبدال نظام القياس الطبي عن بعد إلى نموذج المخاطر الصادر عن "المعيار الوطني الأمريكي للمقاييس ANSI/AAMI/ISO 14971:2000: الأجهزة الطبية–تطبيق إدارة

المخاطر على الأجهزة الطبية (ANSI، ٢٠٠٠)". تم في إطار هذا النموذج اعتماد تقدم تدريجي من أجل تخطيط وتقييم وضبط مخاطر استخدام الأجهزة الطبية. يمكن تلخيص هذا النهج في الخطوات التالية:

- تخطيط عملية إدارة المخاطر.
- إجراء تحليل للمخاطر.
- تقييم المخاطر وسبل التصدي لهذه المخاطر.
- اتخاذ إجراءات للتخفيف من هذه المخاطر وضبطها.
- وضع برنامج لمراقبة حوادث الـ EMI وإعادة تقييم نظام القياس عن بعد بشكلٍ استباقي من أجل التغيرات في النقل أو استخدام الجهاز.

تعتمد الحاجة إلى معالجة المخاطر في إطار هذا النموذج إلى مدى خطورة الخطر واحتمال وقوع الأحداث السلبية وتأثير الحدوث الفعلي لهذه الأحداث السلبية على المريض. يجب إعادة تقييم المخاطر التي يتعرض لها القياس الطبي اللاسلكي عن بعد باستمرار بسبب إمكانية ظهور أخطار جديدة أو بسبب احتمال استخدام الجهاز بأساليب جديدة تؤثر على قبول المخاطر المعروفة. وفي النهاية يجب على كل منشأة أن تقرر الطريقة التي سوف تُعالج فيها هذه المسألة سواء الآن أو في المستقبل. يوضح الشكل رقم (١٠٣,٥) عملية تقييم وإدارة المخاطر والموضوعة خصيصاً للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد.



الشكل رقم (١٠٣,٥). عملية إدارة المخاطر من أجل القياس عن بعد.

تخطيط إدارة المخاطر Risk Management Planning

من الأهمية بمكان في مرحلة البداية تحديد مسؤوليات ونطاق عملية إدارة المخاطر. إن إشراك الأطراف المناسبة في العملية هو أمر بالغ الأهمية لنجاحها. من الناحية المثالية، ينبغي أن تُشرف لجنة السلامة في المؤسسة على عملية تقييم المخاطر ومسؤولية تنفيذ التوصيات الناتجة عنها. بالإضافة إلى ذلك، تُعتبَر المعرفة بتكنولوجيا الراديو والاتصالات مُتطلَّب من أجل نجاح عملية إدارة المخاطر المتعلقة بالقياس الطبي اللاسلكي عن بعد. ومن ثم، لا بد من إشراك هذه الخبرة في هذه العملية من داخل المنشأة (مثل الهندسة الإكلينيكية والاتصالات وإدارة المعلومات) أو التعاقد مع خبراء EMC مناسبين. يجب على لجنة السلامة أن تُعين السلطة المسئولة عن تنفيذ برنامج إدارة الطيف. يجب أن يكون لدى هذه السلطة معرفة عمل جيدة بشواغل القياس الطبي اللاسلكي عن بعد. باعتبار أن العملية تشمل على إعادة تقييم مستمر (نظراً للتغيرات الجارية في الأجهزة الطبية وتكنولوجيا الاتصالات) فإنه يُنصح بشدة أن تشمل عملية تقييم وإدارة المخاطر جميع الأشخاص المشاركين في شراء واستخدام وصيانة تجهيزات القياس عن بعد.

من المفيد في وقتٍ مبكر من مرحلة التخطيط لتقييم المخاطر أن يتم تحديد أنواع وعدد أجهزة القياس الطبي اللاسلكي عن بعد وبارامترات المريض التي يتم مراقبتها ومواقع الأجهزة وترددات النقل وعدد القنوات المستخدمة. سوف تكون المعلومات التي يتم الحصول عليها حول استخدام القياس الطبي اللاسلكي عن بعد مفيدة خلال مرحلة تحليل المخاطر. كما هو موضح سابقاً في هذا الفصل، يمكن للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد أن يعمل في أجزاء مختلفة من الطيف. لهذا السبب يمكن للتغييرات في استخدام الطيف أن تُشكل مخاطر على منتجات القياس الطبي اللاسلكي عن بعد العاملة في نفس تردد الطيف ولكن من المرجح أن يكون تأثيرها قليلاً أو معدوماً على القياس الطبي عن بعد العامل في جزءٍ آخر من الطيف. على سبيل المثال، من المرجح أن لا يتأثر القياس عن بعد العامل على القناة ٣٧ (٦٠٨ - ٦١٤ ميغاهرتز) بالتغيرات التي تطرأ على حزمة الـ ISM.

إن الخطوة الأخيرة في مرحلة التخطيط هي تحديد مدى مقبولية الخطر بالنسبة لكل حالة من حالات منشأة الرعاية الصحية. على سبيل المثال، قد يكون لدى منشأة الرعاية الثالثية التي تتعامل مع مرضى القلبية الحرجين مستوى من القلق إزاء التداخل في القياس الطبي اللاسلكي عن بعد أعلى من مستوى القلق الذي تُبديه مستشفى المجتمع. إن معايير مقبولية المخاطر هي تحديد لمدى التداخل أو لمدى فقدان المعلومات اللاسلكية للمريض الذي يمكن أن تتحمله منشأة الرعاية الصحية. يمكن تصنيف هذه المعايير من أجل تحديد المستويات النوعية للخطر (على سبيل المثال: من حينٍ إلى آخر أو محتمل أو بشكلٍ متكرر أو مؤكد). إن تحديد الأخطار المحتملة على السلامة أو التأثير على سلامة المريض في حالة التداخل هو شرط أساسي لتحديد معايير مدى مقبولية المخاطر. خلال هذه الخطوة،

سوف يتم استخدام القرار حول ما هو مقبول بالنسبة إلى المؤسسة من أجل الوصول إلى قرارات في مرحلة تحليل وتقييم المخاطر.

تحليل وتقييم المخاطر Risk Analysis and Evaluation

إن الخطوة الأولى في مرحلة تحليل وتقييم المخاطر هي تحديد أخطار الـ EMI على إشارات القياس اللاسلكي عن بعد. حدد فريق مهام من الـ AHA (ACCE News، ١٩٩٨) المخاطر المحتملة المباشرة على أنها: تغييرات على الـ PLMRS و الـ DTV الناشئ وبثٍ تلفزيوني آخر يُسمى "التلفزيون منخفض الطاقة" (LPTV). تأسست خدمة الـ LPTV عام ١٩٨٢ من قِبَل الـ FCC بهدف توفير الفرص لخدمة التلفزيون الموجهة محلياً على أساس المُستخدم الثانوي للتردد. بسبب قيود الطاقة على إشارات النقل فقد استهدف الـ LPTV مناطق محلية صغيرة ولكنه لا يزال يُهدد القياس الطبي عن بعد إذا عمل ذلك القياس عن بعد على نفس الترددات التي تعمل عليها محطة الـ LPTV.

هناك عوامل مخاطر أخرى يمكن أن تؤثر على جميع أنظمة الاتصالات اللاسلكية بما في ذلك أنظمة القياس عن بعد بغض النظر عن تردد الإرسال المستخدم. تشمل عوامل الخطر هذه على الـ EMI مع الجهاز المتصل مع المريض أو مع جهاز المراقبة عن بعد. يمكن أن تكون الـ EMI نتيجةً لإرسال اتصالات اللاسلكية أخرى أو لاضطرابات كهرومغناطيسية أخرى (على سبيل المثال، مشاكل بطاقة التغذية AC أو تفريغ كهرباء الساكنة). تُساهم كل مصادر الاضطرابات الكهرومغناطيسية هذه في احتمال الـ EMI مع الأجهزة الطبية إما مع نقل الإشارات الفيزيولوجية للمريض أو مع الأجهزة التي تستقبل أو تُرسل هذه الإشارات. ولذلك ينبغي أن تشمل مرحلة تحليل وتقييم المخاطر على قائمة جرد لجميع أجهزة الاتصالات اللاسلكية المستخدمة في منشأة الرعاية الصحية بما في ذلك أجهزة الإرسال المُثبَّتة على سطح المنشأة (انظر إلى AAMI 18-1997 من أجل شرح واف عن الـ EMI من المُرسلات الراديوية على الأجهزة الطبية وكيفية معالجة هذه المسألة (AAMI، 1997)).

سوف تُحدد ترددات الإرسال الراديوية المُستخدمة في نظام القياس اللاسلكي عن بعد مدى انطباق هذه المخاطر المختلفة على المستخدمين. على سبيل المثال، لا يتأثر عادة نظام القياس عن بعد الذي يعمل في القنوات التلفزيونية في ترددات الـ VHF باستصلاح الـ PLMRS لكنه من المرجح أن يتأثر بالـ DTV أو الـ LPTV. ينطوي تحليل المخاطر التي تشكلها تغيرات الـ PLMRS والـ DTV والـ LPTV على توقع احتمال حدوث تدخل من هذه المصادر والأثر المحتمل لذلك التدخل على سلامة المرضى. سوف يُساعد تطبيق نموذج الـ ANSI لإدارة مخاطر الأجهزة الطبية على هذا التحليل في تحديد مدى مقبولية المخاطر (ANSI، ٢٠٠٠).

ازداد احتمال التداخل لأنظمة القياس اللاسلكي عن بعد والتي تعمل حالياً في حزمة التردد ٤٥٠ – ٤٦٠ ميغاهرتز بشكلٍ كبير في كانون الثاني من عام ٢٠٠١ عندما رفعت الـ FCC التجميد المفروض على استصلاح الـ

PLMRS لهذه الترددات. وبشكلٍ مشابه سوف يزداد احتمال التداخل للأنظمة التي تعمل في الترددات من ٤٦٠ – ٤٧٠ ميغاهرتز بشكلٍ كبير في يوليو من عام ٢٠٠٣ عندما يتم استصلاح الـ PLMRS لهذه الترددات. وعلى الرغم من صعوبة تقدير معدل النمو في استخدام الـ PLMRS بعد رفع هذا التجميد، إلا أنه من المرجح أن يكون هناك زيادة تصل إلى أربعة أضعاف المستخدمين للقنوات الضيقة الجديدة. وبسبب أن مُستخدمي الـ PLMRS هم عادة عبارة عن مصادر متحركة فمن المرجح أن يكون التداخل مع القياس الطبي اللاسلكي عن بعد متقطعاً إضافة إلى كونه صعب التعقب والتحديد. يعتمد احتمال التعرض إلى التداخل من الـ PLMRS بشكلٍ جزئي على عدد محطات الإرسال المُستخدمة في المناطق القريبة من نظام القياس الطبي عن بعد. من المرجح أن يتواجد المزيد من مُرسلات الـ PLMRS في الاستخدام في المناطق المكتظة بالسكان. لذلك فإن مخاطر التداخل للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد والذي يُرسل في الوقت الراهن على ترددات الـ PLMRS سوف يكون مُرجحاً في المناطق الحضرية والتي يوجد فيها عدد كبير ومُركّز من مرسلات الـ PLMRS التجارية. وبمعرفة هذه الاعتبارات المختلفة، فإن احتمال التداخل المستمر أو المتقطع للقياس الطبي عن بعد بترددات الـ PLMRS هو على الأقل عَرَضي ولكن على الأرجح أن يكون محتملاً أو متكرراً. وعلاوة على ذلك، فمن المُرجح أن تكون مخاطر تضرر المريض الناجمة عن خلل في المراقبة ذات مستوى غير مقبول لدرجة حرجة. وبالتالي لا بد من اتخاذ إجراءات للتخفيف من مخاطر التدخل لمعظم هذه الأنظمة العاملة على الترددات من ٤٥٠ – ٤٧٠ ميغاهرتز.

يمكن التنبؤ باحتمال التداخل للقياس الطبي عن بعد من الـ DTV في أماكن مختلفة من خلال استعراض معلومات الـ DTV المنشورة على موقع الـ FCC على شبكة الإنترنت (http://www.fcc.gov/) ومن خلال متابعة إعلانات الـ FCC والالتماسات المقدمة من جانب محطات البث التلفزيون المحلية. من المُفترض بصفةٍ عامة أن تُخطر محطات البث المحلية أي من المستشفيات المتأثرة قبل بداية إرسال الـ DTV. إذا بدأ الـ DTV بث المحطة على قناة تلفزيونية مستخدماً الترددات نفسها التي يستخدمها النظام المحلي للقياس عن بعد، عندئذ فإن نظام القياس عن بعد ينتفي بأكمله على كامل الـ ٦ ميغاهرتز لقناة الـ DTV. يبين الشكل رقم (١٠٣.٢) أن إشارة الـ DTV تستهلك تقريباً كامل حزمة التردد لقناة تلفزيونية مُحددة. في هذا الوضع فإن خطر التداخل مع إشارة القياس اللاسلكي الطبي عن بعد يبدو مؤكداً بشكلٍ أكثر كما تكون مخاطر تضرر المريض الناتجة ذات مستوى غير مقبول لدرجةٍ حرجة.

كما تتأثر محطات بث الـ LPTV بالـ DTV ويجب عليها أن تنتقل إلى قنوات تلفزيونية شاغرة أخرى مع بدء بث الـ DTV. ومن ثم فإن التغييرات التي أحدثها الـ DTV سوف تندفع نحو الـ LPTV وربما تؤثر على القياس الطبي عن بعد. عندما تُغير الـ LPTV ترددها فإنها قد تتسبب بتداخل مع القياس اللاسلكي المحلي عن بعد على الرغم من أن مُستخدِم القياس الإكلينيكي عن بعد قد بذل جهوداً للتنسيق مع تغييرات الـ DTV. ومع ذلك يمكن للقارئ من

خلال مقارنة قائمة محطات الـ DTV في المنطقة مع قائمة محطات الـ LPTV في المنطقة المحلية للمستخدم (والمتوفرة من خلال موقع الـ FCC: http://www.fcc.gov/mmb/vsd/lp/lp.html) تحديد محطات الـ LPTV التي سوف تضطر إلى التغيير بسبب بث الـ DTV. ثم ينبغي على مُستخدمي القياس الطبي عن بعد الاتصال والتنسيق مع محطة بث الـ LPTV من أجل تخطيط الانتقال المُنظم إلى ترددات جديدة مما يُقلل من المخاطر التي يتعرض لها المرضى. إذا كان هناك تضارب مباشر بين ترددات الـ LPTV الجديدة والترددات المستخدمة من قبل القياس الطبي عن بعد القائم فإن تحليل وتقييم المخاطر للقياس عن بعد هو شبيه جداً إلى تحليل وتقييم المخاطر للـ DTV. وبسبب توقع تعيينات إضافية لترددات LPTV في المستقبل فمن الضروري مواصلة المراقبة والانتباه في هذا المجال.

إن لنقل الاتصالات اللاسلكية على إحدى حزم الـ ISM إمكانية تداخل قوية وبالتالي فإنها تستخدم التكنولوجيات لحماية نفسها من التداخل. هناك نقاش كبير داخل مجتمع الهندسة الإكلينيكية حول مدى نجاح آليات الحماية هذه في ضمان موثوقية أنظمة القياس الطبي عن بعد التي تستخدم الـ ISM وقدرة هذه الأنظمة على التعايش مع المستخدمين الآخرين لترددات الـ ISM. في أحسن الأحوال، سيبقى احتمال التداخل في حزم الـ ISM مثيراً للقلق مع ظهور تكنولوجيات ISM جديدة ومع ما يترافق معها من قضايا التوافقية. يجب على المُستخدم عند استخدام نظام القياس عن بعد الذي يعتمد على حزم الـISM أن يُدير وبشكلٍ مستمر جميع تكنولوجيات الاتصالات التي توجد داخل منشأة الرعاية الصحية للتقليل من احتمال التداخل.

من الضروري بموجب نموذج ANSI لإدارة المخاطر تخمين عدد مرات التداخل التي يمكن أن تحدث في نظام القياس الطبي اللاسلكي عن بعد القائم على الـ ISM. تزداد مخاطر التداخل مع ازدياد ازدحام المستخدمين الثانويين غير المرخصين في حزمة الـ ISM. يمكن أن يكون احتمال التداخل بالنسبة إلى نظام القياس عن بعد القائم على حزمة الـ ISM إما بعيداً أو عَرَضي أو محتمل أو متكرر، إلا أنه مع ازدياد الاحتقان في هذه الحزم فإن احتمال التداخل يزداد أيضاً. أما خطر إصابة المريض فلا يزال يُعتبر حرجاً (حيث يعتمد ذلك على طبيعة استخدام القياس عن بعد) ومن ثم يحتاج هذا الخطر إلى التخفيف. من المُرجح مع ازدياد احتمال التداخل أن تُصبح المخاطر غير مقبولة.

يعتمد احتمال التداخل مع القياس الطبي اللاسلكي عن بعد من أنظمة الاتصالات اللاسلكية الأخرى المستخدمة داخل المنشأة على المستويات النسبية لطاقة خرج وتردد المُرسل وعلى فصل المُرسل عن الجهاز الطبي. يُمثل استخدام البث الراديوي ثنائي الاتجاه والذي يعمل في حزمة الـ PLMRS تضارباً واضحاً مع أنظمة القياس اللاسلكي عن بعد التي تعمل في الـ PLMRS. وبالمثل، تُشكل شبكات الـ LANs اللاسلكية العاملة في حزم الـ ISM خطراً على أنظمة القياس اللاسلكي عن بعد التي تُرسل في نفس حزم الـ ISM. ويجب كجزء من تحليل وتقييم المخاطر تحليل وتقييم كل نوع من أنواع أجهزة الاتصالات اللاسلكية الموجودة في جرد المنشأة. كما يجب أن يُغطي

الجرد الشامل لأجهزة الإرسال الراديوي كلاً من المُرسلات الراديوية الثابتة (التلفزيون على سبيل المثال) والمحمولة (على سبيل المثال، أجهزة الشرطة والإطفاء وحركة الأعمال) التي تعمل في الموقع الجغرافي العام. كما ذكر آنفاً، فإن التغييرات في الـ PLMRS والـ DTV والـ LPTV هي خارج سيطرة منشأة الرعاية الصحية ولكن يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند إجراء عملية تقييم وتخمين المخاطر. قد تُشكل التجهيزات التي تعمل اليوم مخاطر كبيرة في المستقبل مع استمرار تغير الطيف الراديوي.

التخفيف والمراقبة المستمرة Mitigation and Ongoing Monitoring

يجب بعد أن يتم تحديد مستوى المخاطر على نظام القياس عن بعد اتخاذ الإجراءات المناسبة لتخفيف أو تقليل تلك المخاطر. قد ينطوي التخفيف ببساطة على إعادة ضبط مُرسلات القياس الطبي عن بعد على ترددات أخرى. على سبيل المثال، إذا كان تثبيت نظام قياس طبي عن بعد قائم على تردد قناة VHF TV في خطر التداخل من محطة DTV فقد يكون هناك طيف كافي متوفر عند تردد قناة TV شاغرة مختلفة يمكن إعادة ضبط مُرسلات القياس عن بعد عليها وبالتالي التخفيف من المخاطر. قد يكون مثل هذا النهج ملائماً لبعض الوقت ولكن في نهاية المطاف فإن استخدام المجالات الهوائية الراديوية سوف لن يترك للمنشأة إلا بديل الانتقال إلى طيف آخر يُقدم المزيد من الحماية والقليل من المخاطر. أما من أجل تركيب الأنظمة الكبيرة في وضع مماثل فقد يكون هناك ترددات شاغرة غير كافية للسماح بمواصلة استخدام ترددات قناة الـ TV هذه، ومن ثم فإن الانتقال إلى طيف آخر (WMTS على سبيل المثال) سيكون ضرورياً. سوف تحتاج الإجراءات المتخذة للتخفيف من مخاطر التداخل إلى أن تكون مُتزامنة ومُنسقة مع تغيرات الطيف التي أدت إلى قرار خطورة الـ EMI. على سبيل المثال، سوف تضطر أنظمة القياس عن بعد التي تعمل في حزمة التردد ٤٦٠-٤٧٠ ميغاهرتز إلى الانتقال قبل يوليو ٢٠٠٣ كما سوف تضطر أنظمة القياس عن بعد العاملة في حزمة خُصصت للاستخدام من قِبَل محطة DTV إلى الانتقال قبل البث التجريبي للـ DTV.

سوف يُصبح برنامج المراقبة المستمرة والتخفيف المستمر لمسائل الـ EMI أكثر أهميةً مع احتضان المستشفيات والمجتمع بأسره للتكنولوجيا اللاسلكية. يجب على مثل هذا البرنامج أن يُسهل وأن يُنسَّق بشكل مستمر من أجل الأداء الموثوق لجميع التجهيزات الطبية بما في ذلك القياس عن بعد. سوف يشمل البرنامج الاستباقي والمستمر لإدارة الطيف على ما يلي:

- سلطة مسئولة عن الحفاظ على موثوقية الاتصالات اللاسلكية.
- سياسة لإعداد التقارير الخاصة بحوادث التدخل وتقييم هذه التقارير.
- جرد لجميع أجهزة الإرسال الحالية المستخدمة في أماكن العمل بما في ذلك تلك المُرسلات التي سُمح بتركيبها على سطح المستشفى (أو في أي مكان آخر على مقربة من منشأة الرعاية الصحية) مقابل رسم مالي.

- تقييم قابلية العمل المشترك (interoperability) للجهاز الطبي (بما في ذلك القياس اللاسلكي عن بعد) قبل الإقدام على شراء تكنولوجيا لاسلكية إضافية.
- تسهيل تكامل التكنولوجيا اللاسلكية من خلال الإدارة الإستباقية لجميع المُرسلات الراديوية في منشأة الرعاية الصحية أو حولها.
- طرق لتقليل التداخل.
- الإبلاغ عن حوادث وقضايا التداخل إلى السلطة المسئولة عن مثل هذه الأمور.
- الإبلاغ عن أي إصابة مريض أو أي حالة وفاة مريض متعلقة بعطل الأجهزة كما هو مطلوب بموجب تنظيم الإبلاغ عن الأجهزة الطبية (Medical Device Reporting "MDR") (قانون الأنظمة الاتحادية (CFR) الجزء 803 من العنوان 21) عملاً بتشريع الأجهزة الطبية الآمنة (Safe Medical Devies Act) الصادر في عام ١٩٩٠.

ينبغي على موظفي المستشفيات استناداً إلى زيادة فهم الـ EMI وأثرها على أداء التجهيزات الطبية إعطاء المزيد من الاهتمام لمخاطر التداخل أكثر مما كان عليه هذا الاهتمام في الماضي. يحتاج المهندسون الإكلينيكيون والعاملون في المستشفيات إلى البدء في معالجة حوادث التداخل بشكلٍ استباقي. وينطوي ذلك على تعليم مقدمي الرعاية بحيث يقدموا التقارير اللازمة عن جميع مشاكل التجهيزات الطبية إلى قسم الهندسة الإكلينيكية من أجل التحقيق الشامل. من الناحية المثالية، ينبغي أن يكون جميع مقدمي الرعاية إلى المريض على بينة بالسياسة العامة لتقديم التقارير المتعلقة بحوادث التداخل وتقييم هذه الحوادث. ومن المرجح أن يكون جهد التعليم المستمر مطلوباً لجعل الكادر على علم بتغييرات وتطورات هذا المجال سريع التطور. يجب على كادر الهندسة الإكلينيكية استخدام المعلومات المذكورة في التقارير من أجل تقييم الآثار المحتملة لتداخل الـ RF في الحالات المُبلّغ عنها اعتماداً على جرد أجهزة الإرسال المستخدمة في المستشفى. يجب عند تحديد تداخلٍ ما اتخاذ الإجراءات اللازمة لمنع تكرار مثل هذا التداخل.

ينبغي عند النظر في شراء تكنولوجيا لاسلكية جديدة تقييم قدرة هذه التكنولوجيا على العمل مع قاعدة التكنولوجيا اللاسلكية الموجودة. يمكن تحديد هذه القدرة اعتماداً على مراجعة الجرد الكامل للتجهيزات اللاسلكية مع البائع المُرشح لشراء التكنولوجية الجديدة منه والطلب من هذا البائع أن يُثبت مقدرة تجهيزاته الجديدة على العمل مع الأنظمة الحالية وفي بيئة الاستخدام المقصودة.

إن تحديد السلطة المسئولة عن تنفيذ برنامج إدارة الاتصالات اللاسلكية والقياس اللاسلكي عن بعد هو أمرٌ يُنصح به لدرجةٍ كبيرة بسبب رغبة المجتمع الطبي في الحصول على التكنولوجيا اللاسلكية والتي من المتوقع لها أن تنمو بسرعة. تشمل المسؤوليات المقترحة لهذا الكيان على: (١) صيانة مخزون التجهيزات اللاسلكية، (٢) التقييم

الدقيق للتقارير المُقدمة عن أي تداخل محتمل، (٣) تتبع حوادث التداخل وتحديد اتجاهاتها العامة، (٤) تقييم قابلية العمل المشترك بين التجهيزات الجديدة، (٥) توصيات من أجل التخفيف من مخاطر التدخل.

كشف المسح الذي قام به فريق مهام الـ AHA للقياس الطبي اللاسلكي عن بعد أنه ينبغي مراقبة طائفة واسعة من البارمترات عن طريق القياس عن بعد إذا توفرت التكنولوجيا اللازمة للقيام بذلك. ومن خلال إدراك هذه الاحتياجات فقد سمح التعريف الذي تم اعتماده عند إنشاء الـ WMTS (وكذلك قواعد الخدمة) بالاستخدام المبتكر. ولذلك تشمل مرحلة المراقبة المستمر لعملية إدارة المخاطر على إعادة تقييم للمخاطر على أساس التغيرات في الاستعمال المقصود من القياس عن بعد. على سبيل المثال، إذا تم استخدام القياس عن بعد لمراقبة معدل ضربات قلب الجنين للأم الحامل خلال تجوالها وإذا أشارت تلك المراقبة إلى تباطؤ في قلب الجنين فإن مستوى المخاطر على المريض يمكن أن يكون أعلى من مستوى المخاطر على مريض القلب النموذجي المتنقل.

استنتاجات Conclusions

من المتوقع أن ينمو استخدام القياس الطبي اللاسلكي عن بعد في السنوات المقبلة مع التقدم العمري للسكان ومع شيوع التكنولوجيا اللاسلكية وانخفاض تكلفتها. في الوقت ذاته، تتزايد مخاطر الـ EMI مع الإشارات الحيوية للمستخدمين الثانويين للترددات القديمة مع تغيير هذه الترددات من قبل الـ FCC لاستيعاب المزيد من الاستخدام التجاري. وفي الواقع فقد بدأت هذه التغييرات مع إعادة التخصيص للـ DTV والإعلان عن تغييرات على حزمتي التردد للـ PLMRS واللتين كانتا مستخدمتين على نطاقٍ واسع للقياس الطبي عن بعد. يجب على المستشفيات المستخدمة للقياس اللاسلكي عن بعد أن تبدأ فوراً بتقييم أجهزتها من أجل مخاطر الـ EMI كما يجب عليها إجراء التغييرات للتصدي للمخاطر المتزايدة للـ EMI. تشمل توصيات الحد من مخاطر الـ EMI مع القياس الطبي اللاسلكي عن بعد على التحول إلى استخدام ترددات الـ WMTS الجديدة حيث تُتاح فيها الحماية ورقابة مُنسق لتردد للإشارات الطبية. يجب من خلال التقييم المناسب والتخطيط السليم أن تنخفض مخاطر الـ EMI على القياس الطبي اللاسلكي عن بعد بشكلٍ كبير سواء الآن أو في المستقبل.

المراجع

References

AAMI. Guidance on Electromagnetic compatibility of Medical Devices for Clinical/Biomedical Engineers–Part 1: Radiated Radio-Frequency electromagnetic Energy, Technical Information Report AAMI TIR 18-1997. Arlington, VA, Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 1997.

ACCE News. ACCE Partners with Telemetry Manufacturers; AAMI, ASHE, and the AHA to Recommend Spectrum Allocation to the FCC. ACCE News 8(6):11–12, 1998.

AHA. American Hospital Association (AHA) Medical Telemetry Task Force Letter to the Chairman of the Federal Communications Commission. , AHA, 1999.

ANSI. ANSI C63.18-1997: Recommended Practice for On-Site Ad Hoc Test Method for Estimating Radiated Electromagnetic Immunity of Medical Devices to Specific Radio-Frequency Transmitters., American National Standards Institute, 1997.

ANSI. ANSI/AAMI/ISO 14971:2000, Medical device – Applications of risk management to medical devices. , American National Standards Institute, 2000.

ASHE. EMC: How to Manage the Challenge. Health care Facilities Management Series, Chicago, American Society for Healthc are Engineering, 1997.

Baker SD, Larsen M, Wiley JS. Medical Telemetry Frequency Bands: How Should Hospitals Approach Their Decision on Which Band to Use? J Clin Eng 26(2):136–143, 2001.

Buffler CR, Risman PO. Compatibility Issues Between Bluetooth and High Power Systems in the ISM Bands. Microwave J 7:126–134, 2000.

FCC. Federal Communications Commission (FCC) Report and Order ET Docket 99-255, PR docket 92-235, Amendment of Parts 2 and 95 of the Commission's Rules to Create a Wireless Medical Telemetry Service, FCC 00-211. FCC, 2000.

FCC. FCC Public Notice, Freeze on the Filing of High Power Applications for 12.5 KHz Offset Channels in the 450–460 MHz Band to be Lifted January 29, 2001, DA 00-1360., FCC, 2001.

FCC. Federal Communications Commission (FCC) Erraum, This Erratum corrects errors in the Report and Order in WT Docket No. 02-8, FCC 02-152, released May 24, 2002. Information on the WMTS is located on the FCC web site at http://wireless.fcc.gov/servces/personal/medtelemetry/

FDA. Public Health Advisory: Interference Between Digital TV Transmissions and Medical Telemetry Systems. , FDA, 1998.

FDA. Emergency Service Radios and Mobile Data Terminals: Compatibility Problems with Medical Devices. Medical Devices Bulletin MDA DBI999(02). , FDA, 1999.

FDA. FDA Center for Devices and Radiological Health (CDRH) Guidance for Industry: Wireless Medical Telemetry Risks and Recommendations., FDA, 2000.

Geddes LA. Medical Devices Accidents with Illustrative Cases. Boca Raton, FL, CRC Press, 1998.

Hatem MB. Managing the Airwaves: New FCC Rules for Wireless Medical Telemetry. Biomed Instrum Technol 34(3):177, 2000.

JCAHO. Managing Electromagnetic Interference. The Environment of Care Series 2. Chicago, Joint Commission on Accreditation of Health care Organizations,

Kimmel WD, Gerke DD. Electromagnetic Compatibility in Medical Equipment: A Guide for Designers and Installers., IEEE Press and Interpharm Press, 1995.

McClain JP. ASHE/AHA Partnership Makes Medical History. Inside ASHE 5(8), 1998.

McClain JP. 1998. (Personal Communication.)

Pettijohn D, Dempsey MK, Larsen M. A Review of the Technologies Associated with Indoor Wireless Patient Monitoring. J Clin Eng 26(2):155–165, 2001.

Sherman P, Campbell C. Assessing Existing Telemetry Systems for Risk of Electromagnetic Interference. J Clin Eng 26(2):144–154, 2001.

Witters D. Medical Devices and EMI: The FDA Perspective. ITEM Update 22–32, 1995.

Witters DM, Silberberg JL. Electromagnetic Interference with Medical Devices: FDA Concerns and approaches toward solutions, Managing Electromagnetic Interference. The Environment of Care Series 2. Chicago, Joint Commission on Accreditation of Health care Organizations, 1997.