٩٢

رؤية الآلة
Machine Vision

Eric Rosow
Director of Biomedical Engineering, Hartford Hospital
Hartford, CT

Melissa Burns
Holyoke, MA

يعتمد الإنسان المراقب على مجموعة واسعة من الدلالات المُستخلصة من اللون والمنظور والظلال ومكتبة واسعة من الخبرات الفردية الخاصة. يعتمد الإدراك البصري على قدرة الإنسان بشكل فريد من أجل إصدار الأحكام. لكن نظام رؤية الآلة ليس له قاعدة خبرة ينطلق منها لاتخاذ القرارات النسبية. ويجب أن يكون كل شيء محدد بصفة دقيقة. إن المشاكل البسيطة، مثل تحديد موقع جسم ما، وتمييز القمة عن القاع، وتمييز التشويش الصنعي بسبب الضوء عن جزء الجسم ذي الاهتمام، تصبح مهام معقدة في رؤية الآلة. وهذا هو السبب (من أجل تقليل عدد المتغيرات) الذي يجب من أجله تزويد نظام الرؤية (من البداية) "بأفضل صورة" ممكنة، هذا يعني الصورة التي تجعله أسهل بالنسبة لنظام كمبيوتر رؤية الآلة للقيام بمهمته.

يمكن تعريف "رؤية الآلة" بأنها "اقتباس ومعالجة الصور لتحديد أو قياس خصائص الأجسام". إن الهدف من هذا الفصل هو تقديم معلومات مفيدة عن الخطوات الثلاث المطلوبة من أجل التطبيقات الناجحة لرؤية الآلة: التكييف، والاقتباس، والتحليل. بالإضافة إلى ذلك، يتم تقديم عدة أمثلة من العالم الحقيقي لرؤية الآلة والتحكم المحوسب بالحركة، لتوضيح التطبيقات العملية لهذه التكنولوجيات في المجال الطبي الحيوي.

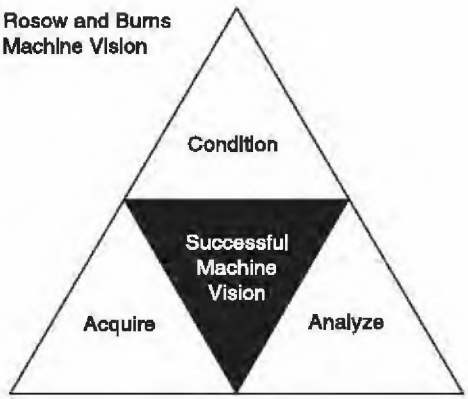
خطوات للنجاح باستخدام رؤية الآلة
Steps to Success Using Machine Vision

يقدم هذا القسم ثلاث خطوات بسيطة (الشكل رقم ٩٢.١) تساعد المرء على تحقيق النجاح مع رؤية الآلة. إن الخطوات الثلاث لنجاح رؤية الآلة هي كما يلي:

١- التكييف: وهو عملية تحضير بيئة التصوير. يجب على المرء أن يأخذ في الاعتبار عوامل مثل الإضاءة والحركة، بالإضافة إلى الصفة (الصفات) المحدَّدة للأجسام التي يتم مراقبتها.

٢- الاقتباس: وهو عملية اختيار أدوات (hardware) اقتباس الصورة، والكاميرا، والعدسة. كما يستخدم المرء برمجيات لالتقاط وإظهار الصورة.

٣- التحليل: يشمل جميع خطوات معالجة الصور التي يستخدمها المرء للإجابة على أسئلة حول الصورة. يمكن الإجابة على أسئلة مثل "كم هو حجم هذا الجسم؟" و"هل هذا الجسم موجود في الصورة؟".



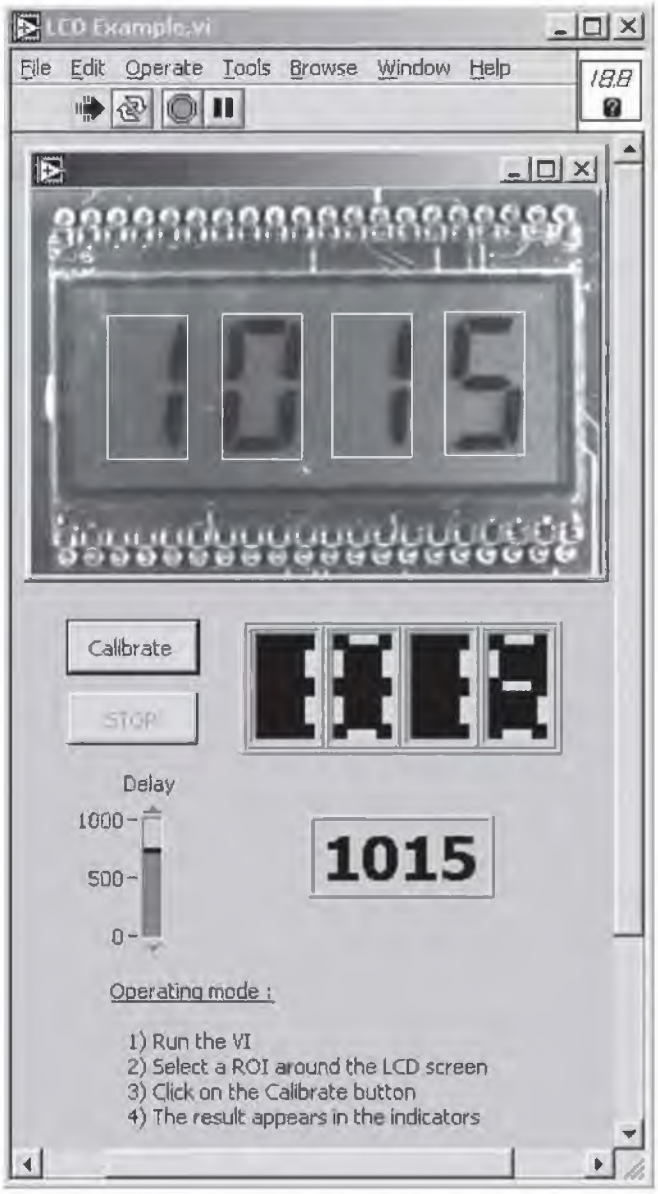
الشكل رقم (٩٢,١). الخطوات الثلاث المطلوبة للتطبيقات الناجحة لرؤية الآلة. عن (Courtesy of National Instruments).

يتم مناقشة أمثلة عملية أخرى لرؤية الآلة والأجهزة الافتراضية في الأمثلة الثلاثة التالية. يوضح المثال الأول كيف يمكن لكمبيوتر قراءة الإظهار ذي القطع السبعة (seven-segment display) وكيف يمكنه عرض هذه "الصور التمثيلية (analog images)" على شكل مؤشرات رقمية، كما هو مبين في الشكل رقم (٩٢,٢).

يبين المثال الثاني (انظر الشكل رقم ٩٢,٣) كيف يمكن استخدام الأجهزة الفعلية ورؤية الآلة لقراءة موقع إبرة. إن هذه "الأجهزة الافتراضية" (VIs) مفيدة في كثير من التطبيقات، مثل معايرة مقاييس السرعة وأجهزة القياس في صناعات السيارات والصناعات الطبية.

يوضح المثال الأخير (انظر الشكل رقم ٩٢,٤) كيف يمكن لتطبيقات رؤية الآلة قراءة الباركود (قضبان الترميز) القياسي. يقوم المستخدم في هذا المثال بإجراء عملية معايرة بسيطة عن طريق اختيار "المنطقة ذات الاهتمام" (ROI) التي تتقاطع مع منطقة الباركود، ومن ثم سيقوم الجهاز الافتراضي (VI) بتفسير الباركود القياسي إلى مكافئاته الرقمية.

يتم في ما يلي تقديم عدة أمثلة من العالم الحقيقي للتطبيقات الطبية الحيوية التي تستخدم تكنولوجيات رؤية الآلة و/أو التحكم بالحركة.



الشكل رقم (٩٢,٢). مثال عن الإظهار بالكريستال السائل (LCD) ذي القطع السبعة.

الشكل رقم (٩٢,٣). مثال لمقياس.

الشكل رقم (٩٢,٤). مثال للباركود.

دراسة حالة رقم ١: الـ EndoTester™– نظام ضبط جودة وتقييم تكنولوجيا قائم على أجهزة افتراضية من أجل أنظمة الفيديو الجراحية

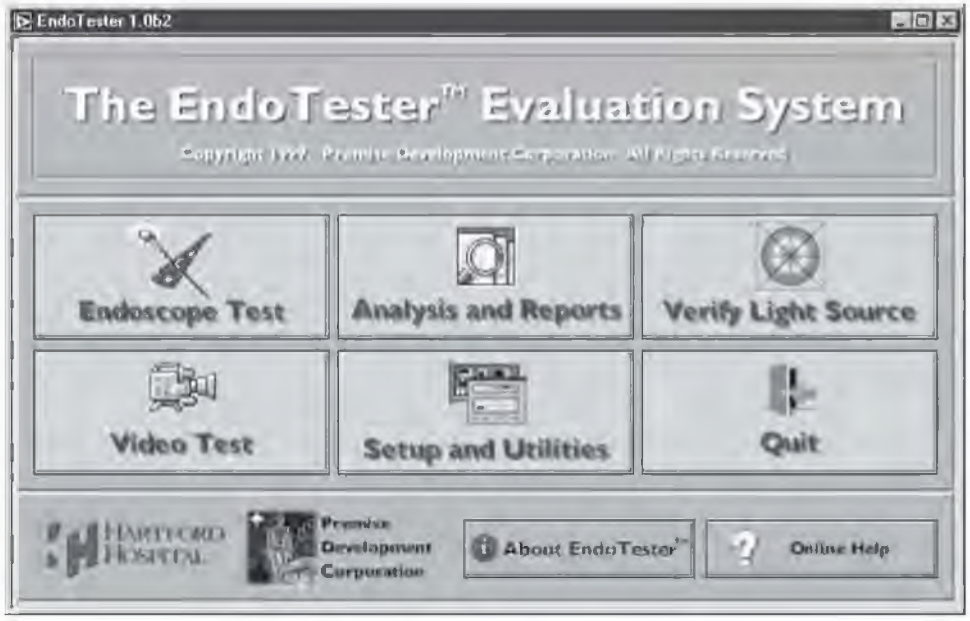
Case Study #1: The EndoTester™—A Virtual Instrument-Based Quality Control and Technology Assessment System for Surgical Video Systems

يتزايد استخدام الجراحة التنظيرية على نحو كبير لأنها بشكل عام أكثر أماناً وأقل تكلفة من الجراحة التقليدية، ويميل المرضى إلى بقائهم وقت أقل في المستشفى بعد الجراحة التنظيرية. يُقدِّر خبراء الصناعة بشكل متحفظ أنه تم إجراء حوالي أربعة ملايين عملية جراحة صغرى في عام ١٩٩٦م. ومع شيوع الجراحة التنظيرية فإن هناك حاجة متزايدة لتقييم دقيق لخصائص أداء المناظير ومكوناتها المحيطية.

مقدمة Introduction

غالباً ما يكون تقييم الأداء البصري لمناظير البطن وأنظمة الفيديو صعباً في البيئة الإكلينيكية. يعتمد الجرَّاح على صورة عالية الجودة لإجراء جراحة صغرى على الرغم من أن ضمان العمل الصحيح للتجهيزات من قبل كادر الهندسة الإكلينيكية ليس دائماً واضحاً. يمكن أن تؤدي المتغيرات الكثيرة في المريض والتجهيزات إلى صورة سيئة. تتضمن متغيرات التجهيزات، التي قد تقلِّل من جودة الصورة، المشاكل في المنظار الصلب، إما في البصريات أو انتقال الضوء. إن كابل الضوء هو مصدر آخر لعدم اليقين بسبب الضياعات البصرية من الألياف المتضررة. تتضمن أعطال كاميرا الفيديو ذات الجهاز مزدوج الشحنة (CCD) مصدراً آخراً أيضاً لسوء جودة الصورة. إن نظافة التجهيزات وخصوصاً سطوح عدسات المنظار (في كلتا النهايتين القريبة والبعيدة) هي مشكلة شائعة بشكل خاص. تجعل عوامل المريض التقييم الموضوعي لجودة الصورة أكثر صعوبة. إن المناطق الجراحية الكبيرة والنزيف في الموقع الجراحي ليسا سوى مثالين على عوامل المريض التي يمكن أن تؤثر على جودة الصورة.

إن تقييم التجهيزات الجديدة للتنظير الفيديوي صعب أيضاً بسبب عدم وجود معايير موضوعية للأداء. إن مشتري التجهيزات مضطرون أساساً لاتخاذ قرار غير موضوعي حول جودة الصورة. وقد وضع المؤلفون أداة، الـ EndoTester,™ مع برنامج متكامل لقياس الخصائص البصرية لمناظير الألياف البصرية. ويوضح الشكل رقم (٩٢,٥) القائمة الرئيسية لهذا التطبيق.

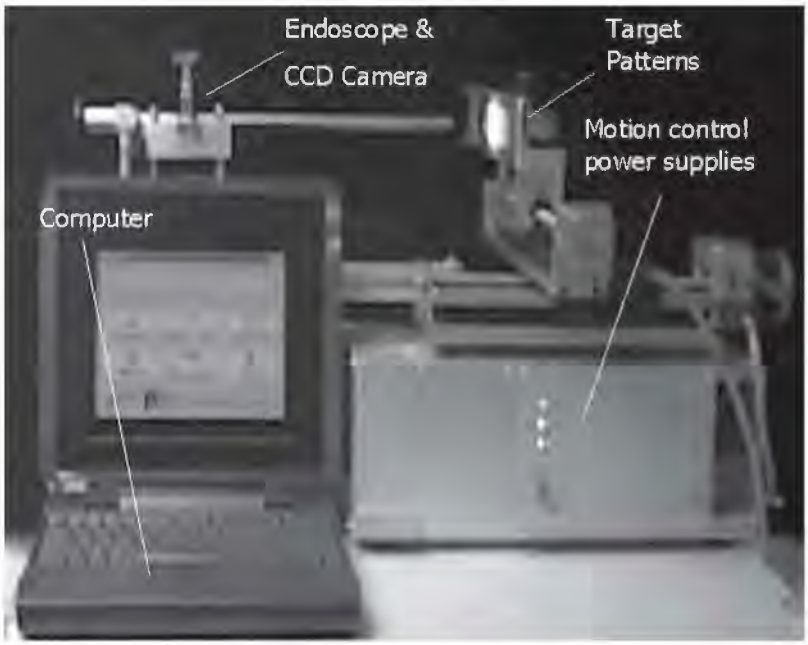


الشكل رقم (٩٢,٥). القائمة الرئيسية للـ EndoTester,™.

المواد والطُرق Materials and Methods

إن الـ EndoTester,™ هو منصّة ضوئية متخصصة مُستخدَمة في الاختبار الكمي لمسار الألياف البصرية ونظام العدسات في المناظير الصلبة والمرنة. ويتطلب الـ EndoTester,™، بالإضافة إلى محطة الاختبار المتخصصة (الشكل رقم ٩٢,٦)، ما يلي:

- مصدر ضوء متغير ذي شدة عالية.
- كابل ألياف ضوئية مرن.
- معالج كاميرا فيديوية من النوع CCD.
- شاشة مراقبة فيديوية اختيارية (يُنصح به).
- كمبيوتر شخصي قياسي وبورد (الدارة الإلكترونية) الالتقاط الفيديوي.
- طابعة ليزرية (٦٠٠ نقطة بالبوصة أو يُفضَّل أعلى).



الشكل رقم (٩٢,٦). مُثبِّت الاختبار الأساسي للـ EndoTester,™.

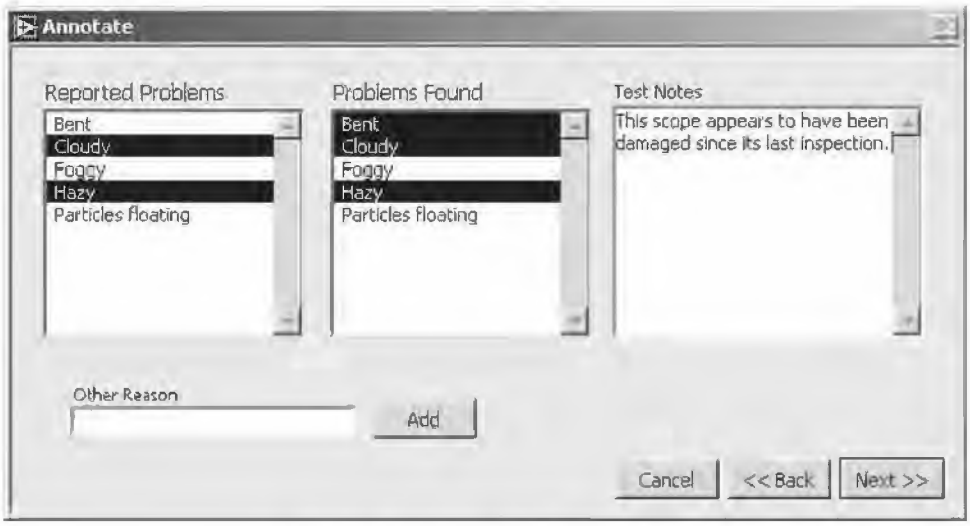
يتضمن الكمبيوتر القياسي إما بورد ٨ بت ذا تدرج رمادي أو بورد ٢٤ بت ملون، وذلك لتحويل الإشارات الفيديوية إلى رقمية (MRT Videoport, MRT Micro, Inc, Boca Raton, FL) أو (IMAQ-PCI-1408, National Instruments, Austin, TX) وبرنامج مُتخصِّص يسمح باقتباس وتحليل سهل للخصائص البصرية للمنظار. إجمالاً،

تسمح منصة الاختبار البصرية والبرامج المتخصصة للمُستخدِم بإجراء سلسلة من الاختبارات على المنظار وأدواته الطرفية. وتتضمن هذه الاختبارات على وجه التحديد ما يلي:

- الضياعات النسبية للضوء.
- التناظر الانعكاسي.
- النسبة المئوية للألياف المُضاءة (أي، الجيدة).
- التشوه الهندسي.
- تابع نقل التعديل (MTF).

ترتبط كل سلسلة من الاختبارات بمنظار محدَّد وذلك للسماح بالتوجيه والمقارنة السهلة للقياسات المتتالية. يتم أيضاً بواسطة سجلات إلكترونية توثيق معلومات محددة عن كل منظار (على سبيل المثال، الصانع، والقطر، والطول، وزاوية الرأس، والقسم/الوحدة، ورقم الضبط (control number)، والمُشغِّل)، وسبب الاختبار (على سبيل المثال، ضبط الجودة وقبل/بعد الإصلاح)، وأية مشاكل مرتبطة بالمنظار. بالإضافة إلى ذلك، يتم إلحاق جميع القياسات الكمية من كل اختبار آلياً بالسجل الإلكتروني. يوضِّح الشكلان رقما (٩٢,٧ و٩٢,٨) شكل واجهة المعلومات وشاشات إدخال المشكلة للـ EndoTester,™. يوضح الشكل رقم (٩٢,٩) تسلسل الاختبار، الذي يمكن فيه اختيار اختبارات متعددة إما يدوياً أو آلياً.

الشكل رقم (٩٢,٧). شكل واجهة معلومات المنظار.



الشكل رقم (٩٢,٨). شاشة إدخال المشكلة.

الشكل رقم (٩٢,٩). اختيار اختبار الـ EndoTester,™.

اختبارات المنظار Endoscope Tests

الضياعات النسبية للضوء في الألياف البصرية

تحدد قياسات الضياعات النسبية للضوء البصري درجة خسارة الضوء من مصدر الضوء إلى الرأس البعيد للمنظار. ستزداد الضياعات النسبية للضوء مع تضرر الألياف البصرية. يتم استبعاد التغييرات في شدة مصدر الضوء أو حالة الألياف في كابل الألياف البصرية من حساب الضياعات النسبية لأن الضياعات النسبية للضوء تُحدَّد مباشرة من خرج ودخل ضوء المنظار.

إن وجود وسيلة بسيطة لقياس تغير الأداء بشكل كمي بالنسبة إلى الزمن هو أمر مرغوب فيه لجميع المناظير ولكن يبدو أنه قيِّم خاصة لتقييم المناظير التي تُستخدَم لمرة واحدة. ويمكن التوقع أن يكون لهذه الوحدات عمراً مُقَنَّناً قدره ٣٠ استخداماً، ولكن قياسات تغيُّر الأداء تحت شروط التشغيل الفعلي، وشروط التعقيم في مؤسسات معينة تؤكد القياسات الكمية الدورية.

يتم حساب الضياعات النسبية للضوء بالنسبة للألياف البصرية في المنظار الخاضع للاختبار بواسطة المعادلة التالية:

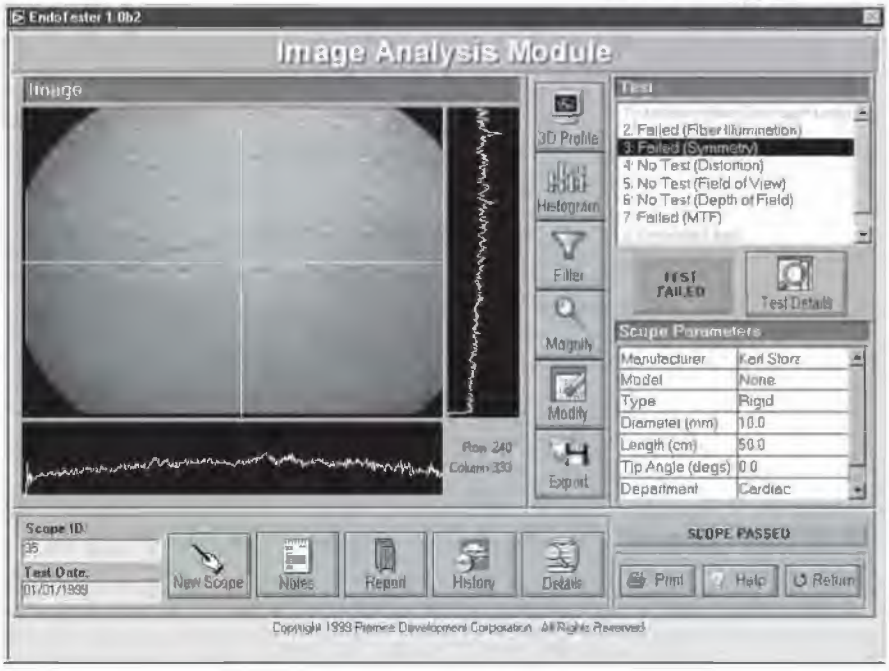
$$\text{Relative Light Loss} = 10\log\left(\frac{\text{Light Out}}{\text{Light In}}\right)$$

أو باللغة العربية: الضياعات النسبية للضوء=١٠ لوغاريتم(الضوء الخارج/الضوء الداخل)

تُقاس قيمة "الضوء الداخل" عن طريق ربط نهاية وصلة الخرج لكابل الألياف البصرية إلى مُثبِّت الاختبار (الشكل رقم ٩٢.٦) الذي يمسك الكابل على مسافة بوصتين من المقياس الضوئي (Edmund Scientific, Model INS-DX100). وتُقاس قيمة "الضوء الخارج" بواسطة المقياس الضوئي المُضاء بواسطة المنظار الخاضع للاختبار.

التناظر الانعكاسي

إن "التناظر الانعكاسي" (الشكل رقم ٩٢.١٠) هو مقياس لمطال الضوء في حقل رؤية المنظار. هذه القيمة مهمة لأنها تحدد مقدار التوزُّع الفعال للضوء.



الشكل رقم (٩٢,١٠). اختبار التناظر الانعكاسي.

من الممكن تحويل شكل الإنارة المستمر إلى خمس حلقات حلقية من التدرجات الرمادية المتناقصة وذلك من خلال استخدام خمسة مقارنات مِقْدَار. ينبغي أن يكون شكل الحلقات الرمادية التي تنتج عن هذا الاختبار في مركز الصورة تقريباً. إن شكل هذه الحلقات دائري بالنسبة لزوايا رأس منظار تساوي صفر درجة وبيضوي أحياناً بالنسبة لرؤوس المنظار ذات الزوايا المختلفة عن الصفر. يبين الرسم البياني المُدرَّج (histogram) عدد البكسل لكل خرج مقارن (شدة الضوء). ويمكن للمستخدم بشكل تخطيطي رؤية كم بكسل موجود لكل حزمة من الشدة وذلك بالنسبة لكل "حلقة" يتم إظهارها في الصورة التي يتم ترشيحها. ينبغي أن تكون "النسبة المئوية لمنطقة السطوع" مساوية إلى أو أكبر من ٥٠٪ من السطوع الأعظمي وذلك من أجل اجتياز هذا الاختبار. تحدِّد المعادلة التالية كيفية حساب النسبة المئوية لمنطقة السطوع. ويشير "المستوى الرمادي ١" و"المستوى الرمادي ٢" إلى الحلقتين الأكثر سطوعاً (أي، الأعمق).

$$Percent\ Bright\ Area = \left[\frac{(Gray1 + Gray2)}{\Sigma\ pixels}\right] \times 100$$

أو باللغة العربية: النسبة المئوية لمنطقة السطوع=

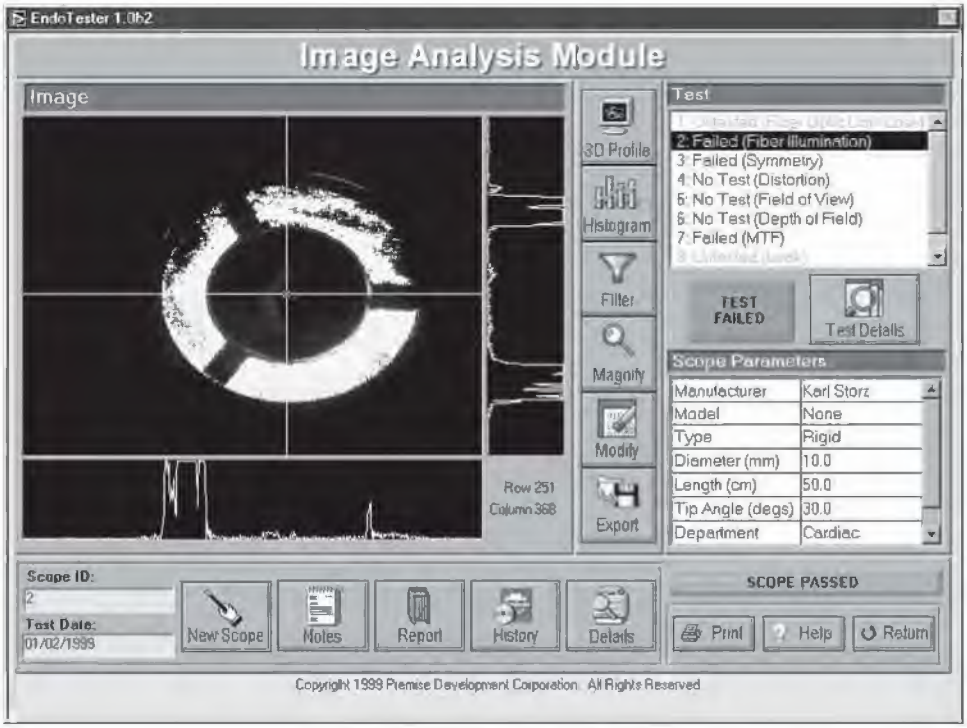
[(المستوى الرمادي ١+ المستوى الرمادي ٢)/ مجموع البكسل] × ١٠٠

بالإضافة إلى حساب النسبة المئوية لمنطقة السطوع لحقل الرؤية، فإنه يمكن قياس "خطأ رؤية الثقب (boresight)". يُعرَّف خطأ رؤية الثقب بأنه الفرق بين مركز حقل الرؤية ومركز الإضاءة التي يقدمها المنظار. يتم وضع شبكة في مركز حقل الرؤية أبعادها ٠,٢ بوصة × ٠,٢ بوصة مربع، والمربع في مركز الشبكة أسود صلب. يُظهِر جمع هذه الشبكة مع شكل الحلقة المسافة الهندسية من مركز الإضاءة إلى مركز حقل الرؤية. وبواسطة عد الشبكة المربعة ذات الـ ٠,٢ بوصة، يتم تحديد القياس الكمي لخطأ رؤية الثقب للمنظار على مسافة من الرأس مقدارها ٢ بوصة.

الألياف المُضاءة

يتم التقاط انعكاس متقارب (بفاصل أقل من ٠,٢٥ بوصة) للنهاية البعيدة للمنظار من مرآة مصقولة أو سطح صافٍ بواسطة كاميرا CCD. يوفِّر هذا تسجيلاً لشكل الألياف البصرية المُضاءة للمنظار الخاضع للاختبار. ويعتمد عدد البكسل المُضاء على أبعاد المنظار، وهندسة النهاية البعيدة، وعدد الألياف البصرية المتعطلة. إن تضرر ألياف جديدة بالنسبة للتنظير يكون واضحاً من خلال مقارنة صور الألياف المضاءة (أشكال الرسم البياني المُدرَّج) من الاختبارات المتتالية. وتتوفر أيضاً بيانات إحصائية لحساب النسبة المئوية للألياف العاملة في منظار معين.

بالإضافة إلى الشكل ثنائي الأبعاد للألياف المُضاءة (الشكل رقم ٩٢,١١)، فإنه يمكن إظهار هذا الشكل (وجميع أشكال الصور الأخرى) في شكل طباعة لخطوط محيطية ثلاثية الأبعاد، كما هو مبين في الشكل رقم(٩٢,١٢). يمكن النظر إلى هذا الرسم البياني التفاعلي من وجهات نظر متعددة يمكن للمستخدم فيها تغيير الارتفاع والدوران والحجم وضوابط المنظور.



الشكل رقم (٩٢,١١). إضاءة ألياف المنظار.

الشكل رقم (٩٢,١٢). إضاءة ألياف المنظار (منظور جانبي للخطوط المحيطية ثلاثية الأبعاد).

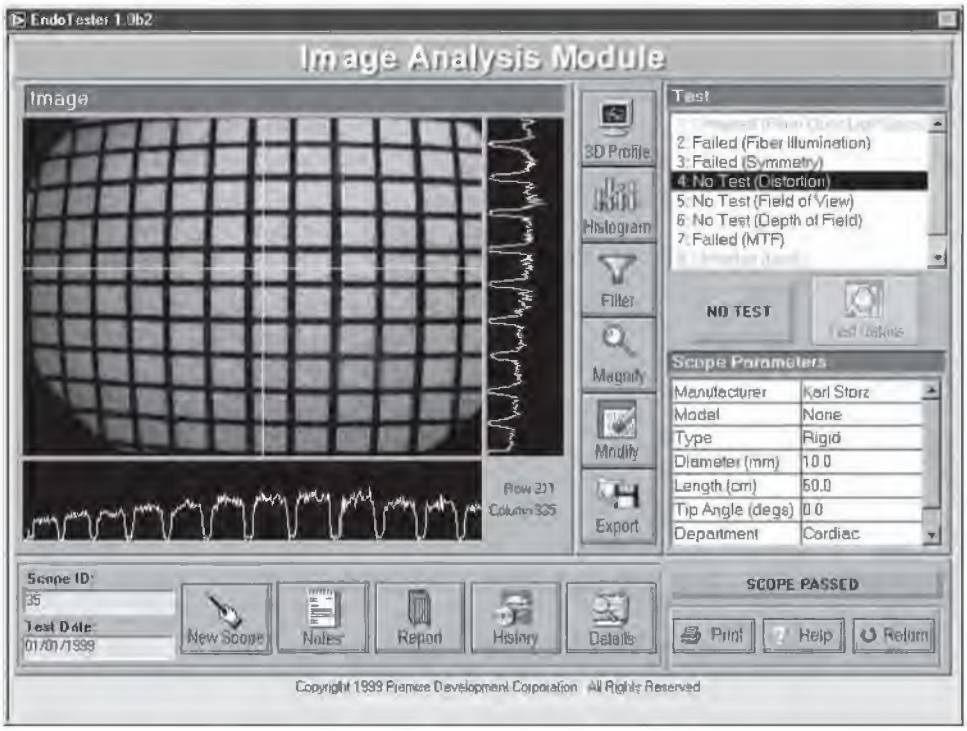
التشوه الهندسي

يُستخدم اختبار التشوه الهندسي لقياس التشوه البصري لنظام العدسة العصوية. يلتقط نازع الإطار الفيديوي للـ EndoTester صورة لشكل الشبكة المربعة. يتم تعريف "التشوه" بأنه تغيُّر التكبير عند نقاط حول حقل الرؤية بالنسبة إلى التكبير الأعظمي الذي يحدث في مركز حقل الرؤية. ومن خلال قياس طول قطر المربع المركزي للشكل بالنسبة إلى طول قطر أي مربع آخر، فإنه يمكن تحديد التشوه الهندسي. يتم حساب النسبة المئوية للتشوه بواسطة المعادلة التالية:

$$Percent\ Distortion = \left[\left(\frac{Other\ Square\ Diagonal\ Length}{Central\ Square\ Diagonal\ Length}\right) - 1\right] \times 100$$

أو باللغة العربية: النسبة المئوية للتشوه=[(طول قطر المربعات الأخرى/طول قطر المربع المركزي)-١]×١٠٠

يوضح الشكل رقم (٩٢,١٣) الشاشة المُستخدمة لقياس التشوه الهندسي لمنظار تحت الاختبار.



الشكل رقم (٩٢,١٣). لوحة تحليل لتشوه.

تابع نقل التعديل Modulation Transfer Function

إن استجابة الفتحة هي معيار عالمي لتحديد تعريف الصورة والجوانب الأخرى لأداء نظام التصوير. ويمكن استخدامها لصور الفيلم، وعدسات الكاميرا، ومصوّري الكاميرا التلفزيونية، وأنابيب مستقبلات الصور، والعين

البشرية. يتم قياس استجابة الفتحة كنسبة تباين من خلال شكل موجة مربعة (تابع نقل التباين [CTF]) أو شكل موجة جيبية (تابع نقل التعديل [MTF]).

يمكن تحويل بيانات استجابة الموجة المربعة إلى بيانات موجة جيبية مكافئة من خلال التلاعب الرياضي؛ ولكن طريقة الموجة الجيبية هو الأسلوب الأكثر مباشرة. يتوفر الآن أهداف فيلم متغيرة الكثافة كأهداف انتقال جيبية، ومن ثم يمكن إجراء قياس مباشر لـ MTF. يمكن في الواقع حتى لقياس تردد أحادي الفراغ أن يقدِّم مؤشراً جيداً لأداء نظام العدسات البصرية مثل الموجود في المنظار. وهذه هي الطريقة المُستخدَمة من قبل EndoTester,™. يتم اختبار المنظار مع هدف انتقال جيبي بدورة واحدة لكل ميلي متر (Sine Patterns, Penfield, NY).

يُقاس الـ MTF لنظام العدسات عند تردد حيزي من ست دورات في الدرجة لحقل الرؤية الظاهر. تعتبر القياسات عند هذه الترددات مؤشرات دقيقة للأداء الجيد للأجهزة البصرية عندما يكون الـ MTF عالياً. وهكذا، يوفِّر التردد الحيزي الوحيد على هدف الاختبار مؤشراً كمياً جيداً لأداء البقعة المحلية لنظام عدسات المنظار. يكون لدى منطقة مركز العدسات أفضل أداء بصري عادة، ويكون لدى حواف العدسة حدة بصرية أقل. ولذلك، فإن اختبار الـ MTF يقيس الأداء عند الحواف اليسرى واليمنى، والحواف العلوية والسفلية، ومركز العدسة. لقد أظهرت الدراسات بأن تصور المُستخدِم لجودة الصورة يمكن أن يرتبط بالقيم العالية لتابع نقل التعديل.

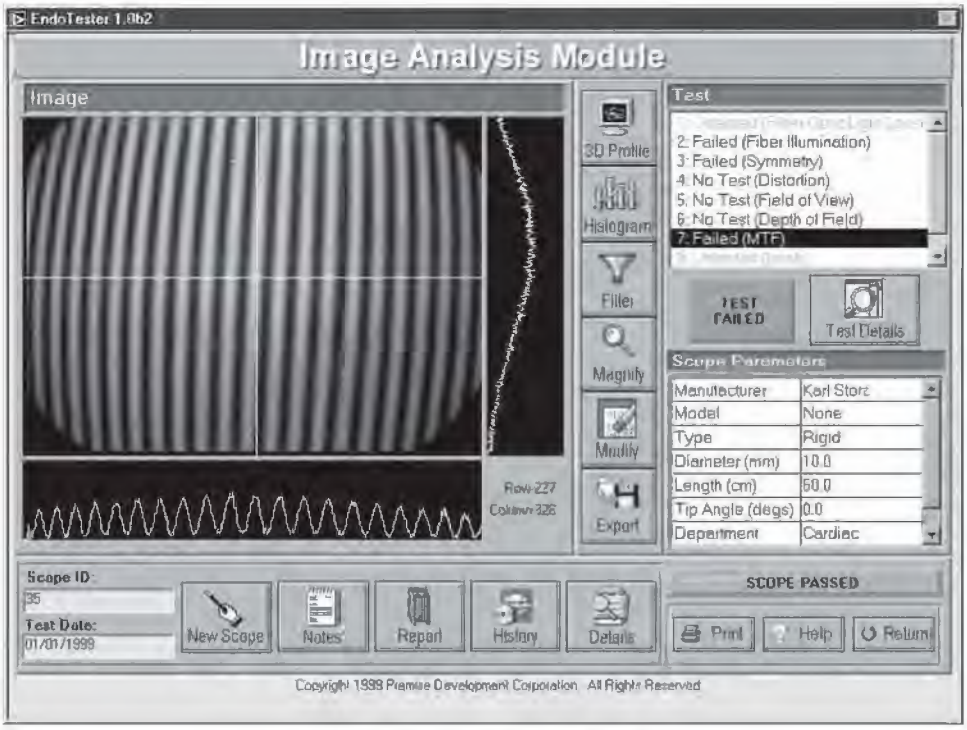
تستخدم اختبارات الـ MTF هدف فيلم نفاذيته للضوء الأبيض متغيرة بشكل جيبي على طول المحور X وثابتة بالنسبة للمحور Y. يتم إزالة كابل الألياف البصرية من المنظار الخاضع للاختبار، واستخدامه لإضاءة الهدف الجيبي. يُظهِر المنظار الشكل الجيبي للضوء المُرسَل. يلتقط نازع الإطار التغيُّر الجيبي للضوء على طول محور المسح الأفقي للصورة التلفزيونية لهذا الهدف.

يتم تعريف التعديل بأنه:

$$Modulation = \frac{(T_{max} - T_{min})}{(T_{max} - T_{min})}$$

حيث T هي شدة الضوء المُرسَل

عند إجراء هذا القياس على مجموعة من الترددات الحيزية، فإن جزءاً من منحنى نسبة نقل التعديل بصفته تابعاً للتردد الحيزي يُسمى بـ "تابع نقل التعديل" (MTF). يساوي الـ MTF لنظامٍ ما جداء الـ MTFs لكل عنصر من عناصر النظام. ومن ثم، فإن الـ MTF للإشارة التي يلتقطها نازع الإطار هو جداء الـ MTF للمنظار والـ MTF للنظام التلفزيوني. يوضح الشكل رقم (٩٢,١٤) الشاشة المُستخدَمة لقياس تابع نقل التعديل لمنظار تحت الاختبار.



الشكل رقم (١٤,٩٢). تابع نقل التعديل.

المناقشة

Discussion

لقد تم تطوير نظام تقييم بصري سهل الاستخدام للمناظير. يسمح هذا النظام بالقياس الموضوعي لأداء المنظار قبل شراء التجهيزات وأثناء الاستخدام الإكلينيكي الروتيني كجزء من برنامج الصيانة المحتمل. إن قياس بارامترات أداء المنظار يمكن أن يُسهِّل شراء التجهيزات. ويمكن التأكد من صحة ادعاءات المورِّدين لإمكانيات الأجهزة كجزء من عملية التفاوض.

إن اعتماد المناظير القابلة للاستعمال مرة واحدة يفتح المجال لاستخدام آخر محتمل لـ EndoTester™. من المتوقع أن يكون لدى المناظير القابلة للاستعمال مرة واحدة عمراً من ٢٠-٣٠ عملية. ومع ذلك، لا توجد طريقة سهلة للتحديد بالضبط متى ينبغي "رمي المنظار بعيداً". يمكن أن يُستخدَم الـ EndoTester™ لتحديد نقطة النهاية هذه.

إن الإمكانية الأعظم لهذا النظام تكمن في كونه جزءاً من برنامج الصيانة الوقائية. يتم حالياً، في معظم غرف العمليات، إخراج المناظير من الخدمة وإرسالها للإصلاح عندما تفشل في الاستخدام الإكلينيكي. تسبب هذه الممارسة تأخيراً بالعمل الجراحي مع مخاطر مرافقة بالنسبة للمريض وزيادة في التكاليف بالنسبة للمؤسسة. إن المشكلة صعبة لأن المنظار قد يكون مناسباً لعملية واحدة، ولكنه قد يفشل في العملية التالية، التي ربما تتطلب دقة

أكثر بسبب المتغيرات السريرية مثل كبر حجم المريض أو النزيف. إن التقييم الموضوعي لعمل المنظار بواسطة EndoTester™ يمكنه التخلص من بعض هذه المشاكل.

بنفس القدر من الأهمية، يسمح أيضاً نظام تقييم المنظار للمؤسسات بضمان قيمة من مقدِّمي خدمات الإصلاح. وعند إنهاء الخدمة يمكن تحديد الحاجة إلى الإصلاح بصورة أفضل، والتحقق من مدى كفاية الإصلاح. تصبح هذه المقدرة هامة بشكل خاص حيث يؤدي النمو الهائل للجراحات الصغرى إلى بوصفاء سوق كبير لإصلاح وخدمة المناظير. تتغير تكاليف إصلاح المنظار بشكل واسع في جميع أنحاء هذه الصناعة، مع تكاليف تتراوح بين ٥٠٠ دولار أمريكي إلى ١٥٠٠ دولار أمريكي أو أكثر لكل إصلاح. يمكن أن تؤدي الإصلاحات غير المناسبة أو غير المكتملة إلى إطالة زمن الجراحة من خلال حاجة الجرَّاح إلى "تبديل المناظير" (عدة مرات، في بعض الحالات) أثناء العمل الجراحي.

نظراً لهذه التطبيقات، يعتقد المؤلفون بأن الـ EndoTester™ يمكنه أن يلعب دوراً هاماً في تخفيض التكاليف غير الضرورية، مع القيام في الوقت ذاته بتحسين نوعية تجهيزات التنظير ونتائج استخدامها.

إن الأمل الحقيقي للمؤلفين هو أن هذه التكنولوجيا تساعد على توفير بيانات دقيقة ومعقولة ويسهل الحصول عليها بالنسبة لخصائص أداء المنظار، التي هي بشكل واضح لصالح مُقدِّمي الرعاية الصحية ومُقدِّمي الخدمات الأخلاقية ومُصنِّعي المنتجات ذات الجودة العالية والدافعين، وبالطبع، المريض.

دراسة حالة رقم ٢: نظام قياس جرح مبني على LabVIEW

Case Study #2: A LabVIEW-Based Wound Measurement System

وصف النظام Description of System

إن نظام التدبير العلاجي للجرح هو وسيلة بسيطة ومتنقلة ومستند إلى الكمبيوتر من أجل تقييم الجرح، وتطبِّق هذه الوسيلة تقنية التصوير الرقمي والتصوير بالأشعة تحت الحمراء معاً. يتم تحليل الصورة الرقمية لتحديد منطقة الجرح وخصائص لونه، في حين أن صورة الأشعة تحت الحمراء يتم تحليلها لتحديد خصائص التروية الدموية للجرح.

إن الغرض من نظام التدبير العلاجي للجرح هو توفير طريقة بسيطة وفعالة من حيث التكلفة يستطيع من خلالها موظفو الرعاية الصحية قياس معدل شفاء الجرح، وتقييم فعالية تقنيات العلاج والعناية بالجرح، وتوثيق تقدُّم شفاء الجرح. ويُحسِّن النظام المُستند إلى الكمبيوتر التكرارية والفعالية لكل من قياس منطقة الجرح وتحليل تلوين الجرح بالمقارنة مع الممارسات الحالية.

الممارسات الحالية للتدبير العلاجي للجروح Current Wound Management Practices

تتضمن قياسات الجروح حالياً تقنيات قياس جراحية وغير متناسقة تستخدم أدوات قياس يدوية أو أغطية بلاستيكية للجرح وتتطلب تقدير حجم الجرح باستخدام التبسيطات الهندسية (على سبيل المثال، الأخذ في الاعتبار طول وعرض الجرح فقط واستخدام تقريب مربع المساحة لحجم الجرح). وتشمل الممارسات الحالية أيضاً التقييم النوعي وغير الموضوعي للطبيب لتلوين الجرح والاستخدام غير المتناسق للصور الفوتوغرافية لتوثيق تقدُّم المريض.

تشمل العناية بالجروح حالياً مجموعة متنوعة وواسعة من أنواع المرضى، من ذوي الأمراض الحادة والتمزقات البسيطة الذين تتم مشاهدتهم في غرفة الطوارئ؛ إلى الجروح المؤذية الناجمة عن الصدمات والتداخلات الجراحية؛ وإلى ذوي الأمراض المزمنة وتقرُّحات الأطراف السفلية وقروح الضغط. هناك تقسيم لموظفي الرعاية بالجروح، والمرافق داخل المجتمع الطبي. وتظهر حالياً وسائل معالجة جديدة بمعدل سريع. غالباً ما تتجاوز هذه الوسائل قدرة الشخص الواحد على فهم واستيعاب المعلومات الجديدة في التقنيات المتطورة والفعالة من حيث التكلفة من أجل رعاية المرضى.

تمثل الجروح المزمنة اليوم قضية رئيسية في مجال الرعاية الصحية، وخاصة بين كبار السن. يمكن أن تستمر الجروح غير المُلتئمة لسنوات، مما تسبب الألم للمرضى وتضعهم في خطر العدوى الثانوية أو فقدان طرف من أطرافهم. إن الأعباء المالية لرعاية هؤلاء المرضى غير اعتيادية: تُقدَّر تكلفة الرعاية المؤسسية للجروح غير المُلتئمة بحوالي ١٠٠٠ دولار أمريكي في اليوم الواحد. وتقدِّر دراسة حديثة أن ثمانية ملايين شخص تقريباً في الولايات المتحدة يعانون حالياً من الجروح غير المُلتئمة، مما يؤدي إلى تكاليف سنوية إضافية على الرعاية الصحية تُقدَّر بأكثر من ١٠ مليارات دولار أمريكي.

ونتيجة لذلك أصبحت العناية بالجروح تخصصاً في حد ذاته. لقد ظهر على مدى السنوات الـ ١٥ الماضية، عدد هائل من منتجات وخدمات العناية بالجروح، بدعوى تزويد الأطباء بالقدرة على إدارة عملية الشفاء على نحو فعال. بالإضافة إلى ذلك، فقد تم طرح العديد من منتجات "قياس الجروح" في السوق. تتراوح هذه المنتجات بين المساطر البسيطة والأغطية المرنة والشفافة (مع أشكال هدف "عين الثور" "bull's eye") التي تبلغ كلفتها أقل من ٢٠ دولاراً أمريكياً، إلى التكنولوجيا العالية وأنظمة القياس المستندة إلى الكمبيوتر التي تزيد كلفتها عن ٨٠٠٠٠ دولار أمريكي.

هناك عدة عوامل أدت في الآونة الأخيرة إلى ظهور العناية بالجروح كتخصص طبي متميز. تعتني البرامج المُخصَّصة للعناية بالجروح على نحو متزايد بالأميركيين الذين يعانون من الجروح المزمنة، وتوفِّر الإمكانات لتحقيق نتائج معزَّزة عند تكاليف منخفضة بالنسبة للدافعين والمستهلكين لخدمات الرعاية الصحية. ويمكن إيجاد الدليل على

هذا الاتجاه في مجموعة متنوعة من التقارير والدراسات الحديثة. ويشير تقرير Frost وSullivan إلى أن سوق منتجات التدبير العلاجي للجروح في الولايات المتحدة هو الآن ١,٧٤ مليار دولار أمريكي، وأنه ينبغي أن ينمو إلى ٢,٥٧ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٠٢م. ووفقاً للتقرير تُقدَّر تكلفة علاج الجروح المزمنة بنحو خمسة مليارات دولار أمريكي إلى سبعة مليارات دولار أمريكي لكل سنة مالية، وتزداد هذه الجروح بمعدل ١٠٪ سنوياً (لمزيد من المعلومات، انظر http://www.pslgroup.com/dg/daf6.htm)

إن تطوير الأكاديمية الأميركية للتدبير العلاجي للجروح (AAWM)، (وهي هيئة تصديق وطنية غير ربحية) هو مؤشر آخر على أن العناية بالجروح تقترب لتصبح صناعة بحد ذاتها. إن شهادة الهيئة (البورد) متاحة الآن للأطباء والممرضين والمعالجين والباحثين وغيرهم من مهنيي الرعاية الصحية المشاركين في العناية بالجروح. لقد قدَّم أكثر من ١٠٠٠ مهني عناية بالجروح طلبات للحصول على شهادة الهيئة من خلال AAWM.

مزايا النظام Advantages of System

يتضمن الروتين الإكلينيكي اليومي للرعاية بالجروح القليل من التوثيق الكمي بل قد لا يتضمن أياً منه وذلك في معظم بيئات المستشفى اليوم. تتم القياسات بصفة عامة بمساعدة مسطرة أو شفافية يتم رسم الجرح عليها. وفي بعض الحالات، سوف يلتقط الأطباء بشكل دوري صوراً بواسطة كاميرا رقمية، ولكن لم يتم وضع أي بروتوكول رسمي، ولم يؤخذ في الاعتبار أي اعتبارات للإضاءة، والغرض من ذلك تعليمي ونوعي أكثر منه كمي. ويوضح الشكل رقم (٩٢,١٥) أمثلة للأدوات والتقنيات الحالية التي تُستخدَم لقياس الجروح ومعدلات الشفاء.

الشكل رقم (٩٢,١٥). توثيق الجرح كما يتم تنفيذه اليوم بشكل مثالي. المصدر (Hartford Hospital, Hartford, CT)

يتخلص نظام التدبير العلاجي للجروح المبني على برنامج LabVIEW من عدم الموضوعية والتقريبات وذلك باستخدام لوغاريتمات الحاسوب من أجل: (١) حساب مساحة الجرح على أساس صحيح، وشكل الجرح غير

النظامي، وتحديد النسبة المئوية لمساحة الجرح التي تشكّل الأحمر والأصفر والأسود (الألوان الأكثر دلالة على تقدُّم شفاء الجرح)؛ (٢) تقييم أو تقديم معلومات عن جرح الأوعية الدموية (عن طريق التصوير بالأشعة تحت الحمراء). بالإضافة إلى ذلك، ونظراً لأن النظام قائم على الحصول على صور متتالية للجرح مع تقدُّم العلاج، فإن للأطباء صلاحية الوصول إلى أرشيف صور تقدُّم المريض. يمكن أن يضيف الأطباء أيضاً ملاحظات شخصية إلى ملف المريض لبوصةاء قاعدة بيانات شاملة من الصور والتحليل والتقدُّم السريري. لقد تم تصميم النظام ليكون محمولاً ويسهل استخدامه من قبل الطبيب العادي. وهذا النظام قائم بذاته، ويستخدم مُثبِّت لمعالجة قضايا مثل الإضاءة، والمسافة من الكاميرا إلى المريض، وزاوية التصوير الفوتوغرافي.

السكان المطلوب علاجهم Indicated Population

يشمل السكان المرضى القابلين للتطبيق والناس الذين يعانون من جروح حادة (على سبيل المثال، التمزقات والصدمات والجروح الجراحية) والجروح المزمنة (مثل الشرايين والأوردة والتقرحات السكرية وقروح الضغط). سوف يركّز تطبيق نظام شفاء الجروح على السكان ذوي الجروح المزمنة الذين يشكّلون التكاليف الأكثر شمولاً بالنسبة إلى الرعاية الصحية ويمكن أن يؤدي إلى أكبر فائدة للمرضى. تم إجراء اختبار البرهان الأولي للمفهوم في عيادة الأقدام في مستشفى هارتفورد، الذي يركّز على التقرحات السكرية للقدم.

توضّح الأشكال رقم (٩٢,١٦) ورقم (٩٢,١٧) ورقم(٩٢,١٨)، بعض وحدات: اقتباس الصور، والتحليل، وإدارة البيانات لنظام قياس الجروح.

فوائد تكنولوجيا التدبير العلاجي للجروح Benefits of Wound Management Technology

يمكن تقسيم فوائد تكنولوجيا التدبير العلاجي للجروح إلى ثلاث فئات رئيسية هي: فوائد للطبيب؛ وفوائد للمريض، وفوائد لمنظمة الرعاية الصحية.

فوائد الأطباء

- طريقة ثابتة وقابلة للإعادة لقياس الجروح.
- بيانات موضوعية وكمية لتقييم طريقة العناية بالجروح.
- صلاحية الوصول إلى البيانات التاريخية عن معدلات شفاء الجروح على أساس نوع العلاج ومتغيرات المريض الخاصة.
- وصول سهل إلى صور أرشيف تقدُّم المريض.

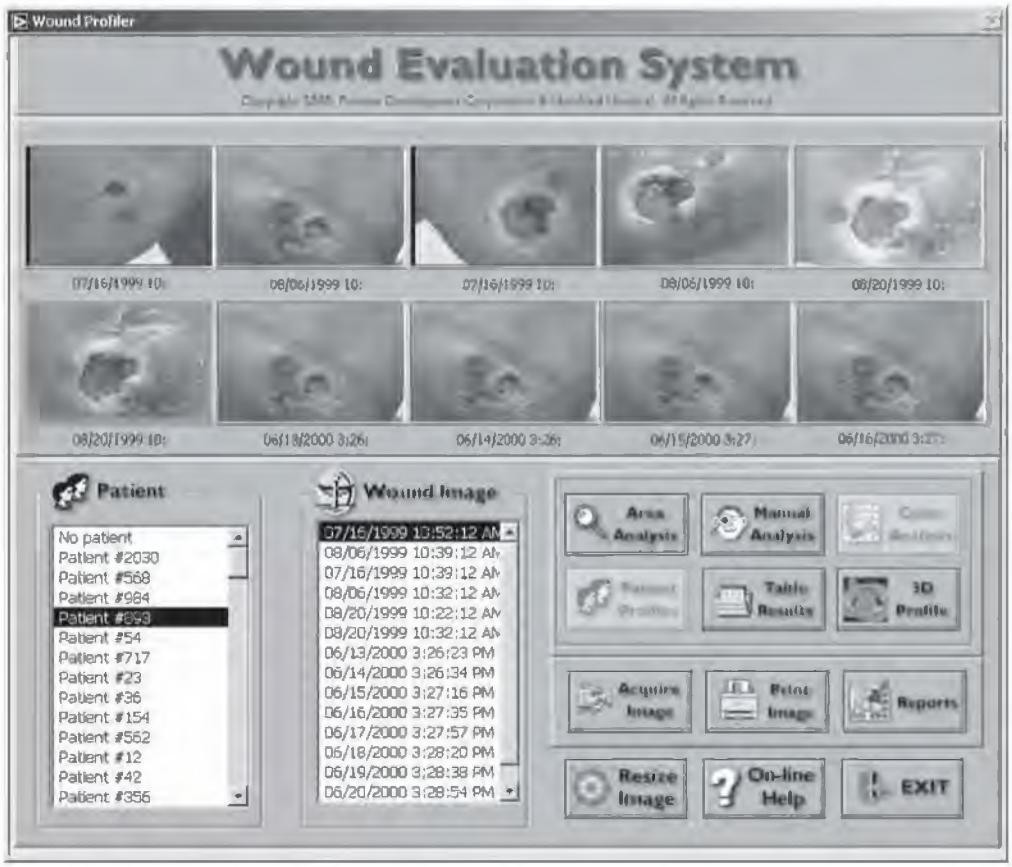
فوائد المريض

- قياس وتقييم غير جراحي للجرح.

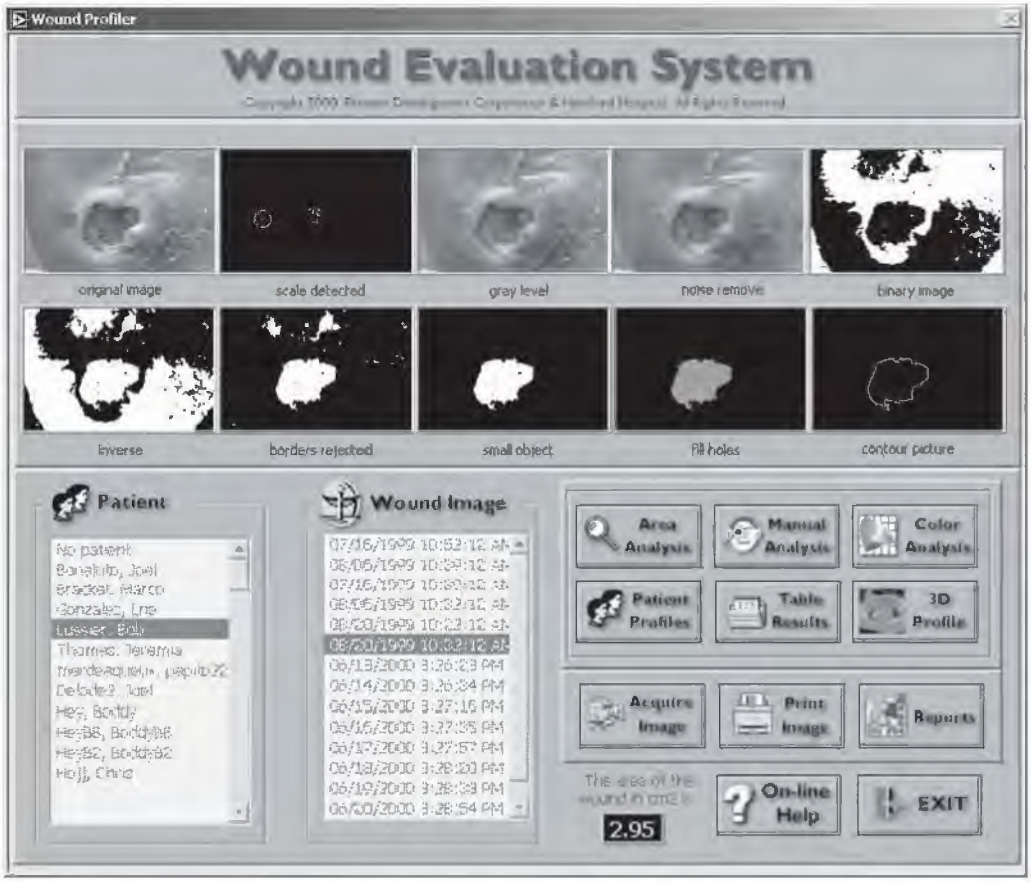
- خفض احتمال عدوى المستشفيات (nosocomial infection).
- فهم مُعزَّز للزبون للمشاركة في التدبير العلاجي للجرح والمشاركة فيه (على سبيل المثال، يُحفِّز التحسين المُقاس والعرض المرئي لتقدُّم الجرح استمرار الممارسات الاستباقية للمريض).

فوائد منظمة الرعاية الصحية

- تقييم أكثر سرعة لفعالية العناية بالجروح، مما يقلل من زمن العلاج والتكاليف المرتبطة به.
- تقليص الوقت اللازم من قبل الطبيب لتوثيق حالة الجرح.
- التبادل البعيد للمعلومات بين مواقع التعليم و/أو المواقع المتعاونة.



الشكل رقم (٩٢,١٦). توضح لوحة اختيار المريض والجرح كيف يمكن اختيار أي مريض (وصور الجرح العائدة له أوفا) من أجل المقارنة التاريخية والبصرية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن اختيار صورة معينة من أجل التحليلات المُتقدِّمة، كما هو مبين في الشكل رقم (٩٢,١٧).



الشكل رقم (٩٢,١٧). يوضّح تحليل الجرح الآلي كيف يمكن لجرح تم اختياره أن يُحلّل آلياً من حيث مساحته وتلوّنه. تُستخدَم لوغاريتمات الكمبيوتر لتحديد المنطقة ذات الاهتمام وإجراء تحليلات محددة بما في ذلك الخط الخارجي للجرح والمساحة والتلوّن. تتضمن التحليلات التي يجري تطويرها التصوير بالأشعة تحت الحمراء والتحليل الحجمي.

الشكل رقم (٩٢,١٨). التصوير بالأشعة تحت الحمراء/الحراري. مثال للتصوير الحراري على جرح قدم سكري. يمكن أن تكون هذه التقنية طريقة فعالة لمراقبة شفاء الجرح وإعادة التزويد بالأوعية (التوعّي)، بالإضافة إلى التنبؤ بمستقبل الجروح والتقرحات.

المناقشة Discussion

تستمر العناية بالجروح بإلقاء أعباء مالية وإنسانية على مجتمع الرعاية الصحية. يعترف الأطباء بفائدة صور الجرح والأدوات اللازمة لتتبع تُقدُّم الجرح، لكنهم يفتقرون إلى الأدوات التي توفر معلومات قيِّمة بينما تحد من التأثير على تدفق المرضى والكفاءة السريرية. وبدون طرق كمية لتقييم المرضى الفرديين وطرق العلاج المتاحة، فإنه من الصعب تحقيق بروتوكولات علاج على الوجه الأمثل، وتقليل معاناة المريض إلى الحد الأدنى. توفر أدوات تطوير واجهة المستخدم وسائل سهلة الاستخدام وقابلة للتشكيل للغاية من أجل التفاعل مع أجهزة التقاط الرؤية وتحويل الصور الناتجة إلى بيانات كمية مناسبة سريرياً. تتخلص لوغاريتمات تقييم حجم الجرح ومظهره من الطبيعة الكمية للتصور البشري، وتستبدل التصور ببيانات عددية وبيانية يمكن تقييمها بسرعة من قبل الطبيب المشغول وتطبيقها لمعالجة المرضى الذين يعانون من الجروح. أخيراً، يمكن أن تصبح أداة قياس الجرح المتكاملة جزءاً من برنامج ناجح للعناية بالجروح ومنافس مالياً. تسمح هذه الأدوات للأطباء وأخصائيي العلاج الطبيعي والممرضات بأن يصبحوا أكثر استباقية في طرقهم والحد من المقاييس التفاعلية وزمن الإنعاش المُرتبط بها مع تقاسم الفوائد الناجمة بين المرضى والأطباء ونظام تقديم الرعاية الصحية.

الاستنتاجات
Conclusions

تسمح الأجهزة الافتراضية ولوحات المعلومات التنفيذية للمنظمات بتسخير طاقة الكمبيوتر الشخصي بشكل فعال للوصول وتحليل وتبادل المعلومات في جميع أنحاء المؤسسة. توضح دراسات الحالة التي تم مناقشتها في هذا الفصل طرقاً تصورتها وطورتها مؤسسات متعددة لإيجاد حلول "مُحدَّدة من قبل المُستخدِم" لتلبية متطلبات محددة في إطار الرعاية الصحية وصناعات التأمين. إن لوحات المعلومات هذه تدعم عمليات عامة، وتساعد المستشفيات في إدارة تقلُّب تعداد وتوافر أسِرَّة المرضى، وتزوِّد الأطباء والباحثين بأدوات لاقتباس وتحليل وعرض المعلومات السريرية من مصادر متعددة. يمكن أن ينتقل صانعو القرار بسهولة من تحليلات صورة كبيرة إلى تفاصيل مستوى التعامل بينما في الوقت نفسه يتقاسمون بأمان هذه المعلومات في جميع أرجاء المؤسسة لاستخلاص المعرفة واتخاذ قرارات مبنية على البيانات في الوقت المناسب. إجمالاً، تفيد هذه التطبيقات المتكاملة مباشرة مُقدِّمو الرعاية الصحية والدافعين، والأهم من ذلك، المرضى.

المراجع
References

Campbell J. Snapshot for LabVIEW® for Windows. Rochester, NY, Viewpoint Software Solutions, 1994.
Inglis A. Video Engineering. New York, McGraw-Hill, 1993.
Kutzner J, Hightower L, Pruitt C. Measurement and Testing of CCD Sensors and Cameras. SMPTE Journal 325–327, 1992.
IEEE. Measurement of Resolution of Camera Systems, IEEE Standard 208, 1995.
Rosow E, Olansen J. Virtual Bioinstrumentation: Biomedical, Clinical, and Health care Applications in LabVIEW., Prentice Hall, 2001.
Surgical video systems, Health Devices 24(11):428–457, 1995.
Walker B. Optical Engineering Fundamentals. New York, McGraw-Hill, 1995.