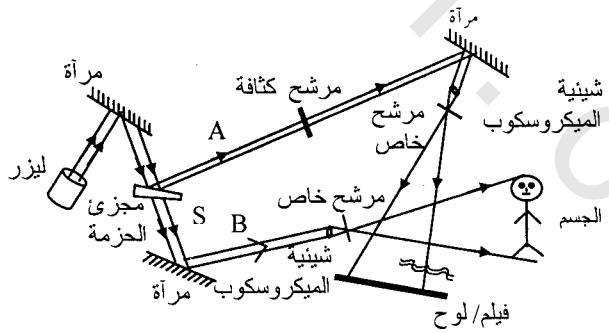
الهولوجرافى (التصوير المجسم)
Holography

1.7 طريقة عمل الهولوجرافى

وضع العالم الإنجليزي دينيس جابور Gabor (مجرى المولد) سنة 1948م الأسس الأساسية للهولوجرافى وقد منح جائزة نوبل فى الفيزياء سنة 1971م على اختراعه وتطويره طريقة الهولوجرافى. لم يكن جابور يفكر وقتذاك فى الهولوجرافى ولكن كان الدافع الرئيسي عنده هو تحسين التصوير بالميكروسكوب الإلكتروني. كان جابور يجرى تجاربه باستخدام مصباح قوس زئبق كمصدر للضوء ولم يلق عمله أي اهتمام حينئذ لدى الأوساط العلمية بسبب عدم وجود مصدر ضوئي ذي شدة واستقرار ملائمين. ظهور الليزر عام 1960م واستخدامه كمصدر ضوئي فتح المجال لإمكانية التصوير الهولوجرافى لما يمتلكه من صفات فريدة فى شدة وترابط شعاعه (الترابط المكاني والزماني). الهولوجرافى مصطلح يتركب من كلمتين يونانيتين الأصل، هولو وتعنى كامل، وجرافى وتعنى تسجيل ومعناهما معا التسجيل المتكامل. والتصوير الهولوجرافى يختلف تماما عن التصوير الفوتوجرافى التقليدي، ولا يحتاج التصوير الهولوجرافى إلى عدسات، بل يحتاج فقط إلى شعاع ليزر فى أبسط أشكاله.

بعد ظهور ليزر الياقوت حدث تقدم هائل فى كلا المجالين العلمي والتقني على أيدي ليث وأبا تيلس سنة 1962م اللذين طورا فكرة الهولوجرام البعيد عن

المحور. فى عـــام 1963م Upatnieks, E.N.leith صـــنعا هولوجرامـــا بـــالليزر لأول مرة، وقد أدى ذلـــك التقـــدم إلى ثـــورة هائلـــة فى تطـــوير الهولـــوجرافى. واقتـــرح Demisyuk من (U.S.S.R) عـــام 1962م تســـجيل هولـــوجرام فى وســـط ثلاثـــي الأبعاد. كانت فكرة Demisyuk هـــي: "علـــى خـــلاف الفوتـــوجرافى – الضـــوء التقليدي – الذي بواسطته يتم تسجيل المشـــاهد ثلاثيـــة الأبعـــاد فى أشـــكال ثنائيـــة الأبعاد – الهولوجرافى يسمح لنا بالحفاظ على المشـــاهد بأبعادهـــا الثلاثيـــة". ويعتمـــد الهولوجرافى أساسا على طريقة التداخل الضوئي لتســـجيل الأمـــواج الضـــوئية المشـــتتة من جسم مضاء بضوء مترابط بدرجة كافية. يتـــداخل الضـــوء المشـــتت مـــع موجـــة مترابطة معها فى الطور تسمى موجة المرجـــع Reference Wave. تتـــداخل الموجـــة المشتتة مع موجة المرجع المترابطة معها فى الطور (مرتبطة) إذا كانـــت الأمـــواج عاليـــة الترابط، فإنها تحدث تأثيرا ملحوظا علـــى توزيـــع شـــدة نمـــوذج التـــداخل النـــاتج، التسجيل الفوتوجرافى لهذا النموذج المسمى هولوجرام يحتوى معلومـــات كاملـــة عـــن كل من طور وسعة موجة الجسم المشتتة لتســـمح بإعـــادة بنائهـــا. يـــتم إعـــادة بنـــاء الصورة عندما يضاء الهولوجرام بالموجة المرجع. الملاحظة بـــالعين لجبهـــة الموجـــة المعـــاد تكوينها ، تعطى صورة الجسم غير المشاهد (غير مدرك أو غـــير المنظـــور) عمليـــا مـــن الأصل كما لو كان الهولوجرام يعمل كنافذة من خلالها يشـــاهد الجســـم الظـــاهر . فى مشاهدة الهولوجرام، المشاهد يتشجع عادة فى تحريك رأسه علـــى الجـــانبين وإلى أعلـــى



شكل (30) يوضح التركيب العملي المستخدم لتسجيل الهولوجرام النافذ.

وإلى أسفل. وبتحريك العين إلى أعلى وإلى أسفل أو على الجانبين نرى أبعاد الصورة وزواياها المختلفة وكأننا ننظر للجسم نفسه ولكن الصورة هنا تقديرية أي أننا لو حاولنا لمس الصورة باليد فلن نجد شيئا.

2.7 هولوجرام النفاذية Transmission Hologram

الشكل (30) يبين أساس عمل الهولوجرافى، حيث تقسم حزمة ليزر بواسطة مرآة نصف شفافة S إلى حزمتين، الحزمة A المنعكسة والحزمة B النافذة. تسقط الحزمة A مباشرة على لوح فوتوجرافى، فى حين تضيء الحزمة B الجسم المراد تصويره. وهكذا فإن الضوء المشتت من الجسم سوف يسقط أيضا على اللوح الفوتوغرافى الحساس كما هو موضح فى الشكل. ونتيجة لترابط الحزمة يتكون نموذج التداخل غاية فى التعقيد على اللوح الفوتوغرافى بسبب انطباق الحزمتين (الحزمة A التي يطلق عليها عادة حزمة المرجع Reference Beam والحزمة المتشتتة من الجسم). فإذا ظهر (حمض) Developed الفيلم ومن ثم فحص تحت تكبير عال، أمكن مشاهدة هدب التداخل (المسافة النموذجية بين هدبيتين متتاليتين حوالي (1μm). إن نموذج التداخل معقد جدا وعندما يفحص اللوح بالعين المجردة لا يظهر أنه يحتوى على صورة مشابهة للجسم الأصلي. ومع ذلك فإن هدب التداخل هذه تحتوى فعلا على سجل كامل للجسم الأصلي.

نفرض أن اللوح المظهر (المحمض) ارجع إلى مكانه الأصلي الذي كان يحتله أثناء عملية التعرض للأشعة، ورفع الجسم الذي كان تحت التصوير. وهنا سوف تتفاعل حزمة المرجع A مع هدب التداخل على اللوح لتحدث ثانية وراء اللوح حزمة حيود، تشبه تماما الحزمة التي تشتت من الجسم. والمشاهد الناظر على اللوح سوف يشاهد الجسم وراء اللوح كما لو أنه ما يزال هناك.

الأمر المثير والمدهش هو لو أننا حطمنا اللوح الحساس (الهولوجرام) إلى

قطع صغيرة متناثرة سوف نجد فى كل قطعة منـــها الصـــورة التقديريـــة نفســـها كـــأن شيئا لم يتغير فيها ولكنك لو دققت النظر سوف تجد بأن إحدى الزوايا مفقودة.

ولتكوين هولوجرام يجب أن تتوفر الشروط التالية:

1- يجب أن تكون درجة ترابط ضوء الليـــزر بالقـــدر الكـــافي حـــتى تتكـــون هـــدب التداخل على اللوح الفوتوغرافي الحساس.

2- الأماكن النسبية لكل من الجسم واللـــوح الحســـاس وحزمـــة الليـــزر يجـــب أن لا تتغير أثناء تعرض اللوح الفوتوغرافي الحساس.

3- يجب أن تتوافر الخواص العامة التالية فى مادة تسجيل الهولوجرام.

أ- يجب أن يكون تحليل اللوح الهولوجرافى عاليـــا بدرجـــة كافيـــة لتســـجيل هـــدب التداخل الدقيقة.

ب- الحساسية العالية لجميع الأطوال الموجية المستخدمة.

جـــ- مدى طيفي واسع.

3.7 هولوجرام الانعكاس Reflection Hologram

نحصل على هولوجرام الانعكـــاس بإســـقاط حـــزمتي الجســـم والمرجـــع علـــى الجانبين المتعاكسين لوســـط التســـجيل أي أن الوســـط الحســـاس (الفـــيلم الحســـاس) سيكون بين حزمة المرجع والجسم ولهـــذا يســـتغني عـــن مجـــزئ الحزمـــة والمرايـــا . فى هولوجرام الانعكاس تتكون هدب التداخل موازية لسطح وسط التسجيل.

4.7 تصنيف الهولوجرام Classifications of Holograms

يصنف الهولوجرام فى عدد من الطرق المختلفة اعتمـــادا علـــى سمكـــه وطريقـــة التسجيل وطريقة إعادة بنائه.

1-هولوجرام السعة Amplitude Hologram

هنا يسجل نموذج التداخل نتيجة الاختلاف فى كثافة وسط التسجيل وتبعا لذلك تتغير سعة الموجة المضيئة لإعادة إنتاج موجة الجسم المسجلة. على أي حال، طبقا لطبيعة امتصاص الهولوجرام كفاءة الحيود تكون أكثر من فقيرة.

2- هولوجرام الطور Phase Hologram

فى هذا النوع من الهولوجرام يحدث تعديل طور الموجة المضيئة نتيجة التباين إما فى سمك المستحلب أو فى معامل انكسار الوسط أو كليهما. هذا الهولوجرام يعطى كفاءة حيود أكبر من كفاءة حيود هولوجرام السعة.

سمك مادة التسجيل Thickness of the Recording Material

1- الهولوجرام الرقيق أو المستوى

إذا كان سمك وسط التسجيل صغيرا مقارنة بالمسافة بين هدب التداخل، عندئذ يمكن اعتبار الهولوجرام رقيقا أو مستويا والذي يكون فى الواقع تراكب عدد من المخزوزات المستوية تفصلها مسافات مختلفة.

2 - الهولوجرام السميك أو الحجمى

Thick or Volume Hologram

إذا كان سمك وسط التسجيل فى حدود أو أكبر من المسافة بين الهدب يسمى الهولوجرام - الهولوجرام السميك أو الحجمى _ ويمكن اعتباره كتراكب مخزوزات ثلاثية الأبعاد. وعندما تكون الزاوية بين عددين موجيين متداخلين طولهما الموجي λ هي θ ، تعطى المسافة d بين الهدب من العلاقة

$$d = \frac{\lambda}{2}\sin\frac{\theta}{2}$$

obeikandl.com

عندما $\theta=1^{o}$ تكون المسافة بين الهدب حوالي 40 ميكرومتر وهي قيمة أعلى من سمك المستحلب بمقدار 10 ميكرومتر. مثل هذا الهولوجرام لا يكون على وجه الخصوص حساسا للتوجيه الملائم لإعادة البناء المناسب. إذا كان المستحلب سميكًا، الهولوجرام يعيد تركيب صور الجسم فقط عندما يضاء فى الاتجاه المناسب. يجب أن يضاء الهولوجرام بطرق مختلفة اعتمادا على ما إذا كانت الصورة التقديرية أو الحقيقية هي المطلوب مشاهدتها.

جدول (18) يبين أقصى كفاءة حيود نظري للهولوجرام

نوع الهولوجرام	النفاذية الرقيقة		النفاذية السميكة		الانعكاس السميك	
التعديل Modulation	السعة	الطور	السعة	الطور	السعة	الطور
الكفاءة %	6.25	33.90	3.70	100	7.20	100

5.7 خواص الهولوجرام وصورته

Properties of Hologram and its Image

1- إذا وضع الهولوجرام بالطريقة الملائمة فى حزمة ضوء تظهر المعلومات المختلفة من الجسم كما هى فى الواقع تماما.

2- هولوجرام النفاذية يشبه النافذة، يشاهد منظر الصورة من خلفها فى الهواء بنفس العمق ونفس التفاصيل كاملة. إذا حرك المرء رأسه فإنه ينظر حول الصورة ويراها من مختلف الزوايا.

3- يمكن إعادة تركيب صورتين من هولوجرام واحد.

4- الخاصية الشيقة والمثيرة المهمة هي، إذا تحطم اللوح الحساس إلى قطع صغيرة متناثرة سوف نجد فى كل جزء منها الصورة التقديرية نفسها كأن شيئا لم يتغير فيها ولكن إذا دققنا النظر سوف تجد أن إحدى الزوايا مفقودة.

6.7 مواد تسجيل الهولوجرافى

Holographic Recording Materials

لا تكون أشكال التصوير الهولوجرافى واقعية إن لم تكن مادة التسجيل ملائمة لتسجيل نموذج التداخل. لا توجد مادة واحدة يمكن استخدامها لكل أنواع التصوير الهولوجرافى حيث إن كل نوع من هذا التصوير له شروطه الخاصة به وهذه تشمل:

1 – قوة تحليل عالية لتساعد على تسجيل حلقات التداخل الرقيقة.

2 – الحساسية العالية للأطوال الموجية المستخدمة.

3 – مدى طيفي عريض.

4 – سهولة الاستعمال والمعالجة.

5 – كفاءة حيود عالية.

المواد المستخدمة لهذا الغرض نذكر بعضًا منها باختصار فيما يلي:

1– المستحلب الفوتوجرافى هاليد الفضة

Silver Halide Photographic Emulsion

تستخدم الأفلام والألواح الفوتوغرافية على نطاق واسع كمواد تسجيل للتصوير الهولوجرافى. ويعزى هذا الاستخدام واسع الانتشار لتنوعها ولسهولة تناولها والحصول عليها لكونها متوفرة تجاريا. يحتوى المستحلب على بلورات رقيقة من هاليد الفضة موزعة فى جيلاتين مرسب على لوح من الزجاج أو على فيلم بلاستيك. متوسط حجم حبيبات المستحلب الهولوجرافى يتراوح بين 0.08 إلى 0.03 ميكرومتر. لتقليل التشتت يجب أن يكون حجم البلورات أصغر من الطول الموجي للضوء المستخدم. يتراوح سمك المستحلب بين 5 – 15 ميكرومتر. يمكن استخدام هذه المادة لتسجيل كل من الهولوجرام الرقيق والهولوجرام الحجمى من النوعين السعة والطور.

obeikandl.com

2- التلوين الفوتونى Photochronics

هذه عبارة عن مواد تتغير ألوانها عكسيا عند تعرضها للإضاءة المناسبة. من أمثلة المواد غير العضوية بروميد البوتاسيوم KBr وفلوريد الكالسيوم المطعمة بأكاسيد الأرض النادرة الملائمة لذلك، ويضاف لذلك أيضا $SrTio_3$ المطعم بعناصر انتقالية.

3-جيلاتين الدايكرومات Dichromate Gelatin

هذه المواد تنتج هولوجرامات الطور مع امتصاص وتشتت ضوئي ضئيل.

7.7 تطبيقات الهولوجرافى Application of Holography

بفضل اكتشاف الليزر أصبح الهولوجرافى مجالا فاعلا فى البحوث التطبيقية. وبعيدا عن التصوير فى ثلاثة أبعاد تعد تطبيقات الهولوجرافى كثيرة ويمكن تقسيمها إلى المجموعات التالية:

1- تكوين الصور: وتشتمل هذه المجموعة على :

أ- تخزين المعلومات فى الكمبيوتر، بذلك ترتفع كفاءة وسعة تخزين المعلومات فى ذاكرة الأجهزة الإلكترونية.

ب- فى الميكروسكوب أو المجهر: يمكن فحص ورؤية الخلايا الحية بأبعادها الثلاثة. وهكذا تمكن الباحثون من رؤية الخلايا والجسيمات الدقيقة.

2- تطبيقات لاتعتمد على تكوين صور

1- الفحوص غير الهدمية باستخدام طريقة قياس التداخل الضوئي الهولوجرافى (تحليل التذبذب والإجهاد).

obeikandi.com

2- الفحوص الضوئية.

3- الهولوجرام كعنصر ضوئي

1- العدسات الهولوجرافية والمرايا ومحزوزات الحيود.

2- المرشحات فى العمليات الضوئية.

3- الرواسم الهولوجرافية.

تنطبق طريقة الهولوجرافى على كل الأمواج، موجات الإلكترونات - أشعة إكس - أمواج الضوء - الموجات الميكرونية وموجات الصوت شريطة أن تكون موجات مترابطة بقدر كاف لتكوين نموذج التداخل المطلوب، على أي حال، الهولوجراف يكون أفضل فى المنطقة الضوئية من الطيف الكهرومغناطيسى. فى السنوات الأخيرة جذب التقدم المذهل فى تقنية الهولوجرافى الضوئي باستخدام الليزر انتباه واهتمام العديد من الباحثين. وقد استخدمت الهولوجرافى كأداة للقياس فى مجالات علمية وهندسية متنوعة. القياس بالتداخل الضوئي الهولوجرافى Holographic Interferometer قد استخدم على نطاق واسع أيضا فى الاختبارات غير الهدامة فى مجال الهندسة الطبية الحيوية. والميزة الأعظم أهمية لقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى هى أن التغير فى شكل الأجسام ذات الأسطح غير الملساء يمكن قياسه بدقة متناهية حتى الطول الموجي للضوء المستخدم.

8.7 الطرق المستخدمة للفحص الهولوجرافى
Techniques of Holographic

قياس التداخل الضوئي الهولوجرافى ذي الزمن الواقعي
Real-Time Holography Inter ferometry

إذا أعيد وضع الهولوجرام مرة ثانية فى مكانه الأصلي الذي تم تسجيله

عنده، فإنه يعيد تركيب موجة الجسم. إذا تغيرت موجة الجسم قليلا، التداخل بين الموجة المعاد تركيبها التابعة للجسم غير المشوه وموجة الجسم المشتتة يعطى نموذجا من الهدب يمكن استخدامه لقياس التغيرات فى شكل الجسم فى زمن واقعي Real-Time . على أي حال إعادة وضع الهولوجرام إلى مكانه الأصلي بدقة تقابله مشاكل عويصة.

قياس التداخل الضوئي الهولوجرافى مزدوج التعريض
Double-Exposure Holography Interferometer

فى هذه الطريقة يسجل هولوجرامان على نفس اللوح الهولوجرافى الحساس، واحد للجسم فى حالته الأولى والآخر للجسم المشوه. هدب التداخل الناتجة من فرق المسار الضوئي بين التعريضين، تنتج عندما يضاء اللوح الهولوجرافى. وتعطى هدب التداخل الناتجة معلومات عن التشوه فى الجسم.

الهولوجرافى التفاضلي الدقيق Microdifferential Holography

الهولوجرافى التفاضلي الدقيق هو نوع من طريقة التعريض المزدوج حيث تستخدم فيه موجة المرجع لتسجيل التعريض الثاني مما يجعله قادر على البقع الساكنة وتأثيراتها المتخفية. عندما يضاء الهولوجرام بموجة المرجع الأصلية، يعاد تركيب كل أمواج الجسم، موجة الجسم الثاني مع فرق فى الطور مقداره 180^{o} عما كان عليه أثناء التسجيل. فى حالة الأجسام الساكنة، Interferogram الناتج سيكون خاليا من الهدب المعتمة التي تكون غالبة جدا فى قياس التداخل الضوئي الهولوجرافى الاعتياد (التقليدي) يسبب التداخل الهدمى فى حالة الأجسام المتحركة الديناميكية نموذج الإزاحة يؤثر على لمعان الملامح المصورة. هولوجرافى التفاضل الدقيق شديد الحساسية للإزاحة الصغيرة للعناصر المشتقة القوية سواء كنا قادرين على التحليل أم لا.

القياس بالتداخل الضوئي الهولوجرافى متوسط الزمن
Time – Average Holographic Interferometry

تستخدم هذه الطريقة لقياس سعة التذبذب للأسطح (الأسطح ذات الانعكاس المنتشر). هنا يسجل الهولوجرام بزمن تعريض أطول بكثير من فترة التذبذب (هذه الطريقة ملائمة للأجسام المهتزة). ولهذه الطريقة قيود حيث لا يمكن قياس الإزاحة والطور الكبيرين.

هولوجرامات الساندويتش Sandwich Holograms

الهولوجرام مضاعف التعرض له قيود عديدة Limitations مثل عدم الحساسية لإثارة الإزاحة والحاجة لتسجيل هولوجرامات منفصلة لمقارنة الحالات المختلفة للجسم. لتسجيل هولوجرام الساندويتش، تعرض أزواج من الألواح الفوتوجرافية فى نفس الوقت مع أسطحها المطلية Emulsion بالمستحلب مواجهة للجسم. تعطى اتحادات هذه الألواح الهولوجرافية المعرضة تحت ظروف مختلفة للجسم معلومات عن كل أو التشوهات الصغيرة الزائدة حول الجسم.

المنحنيات المختلفة الهولوجرافية Holographic Contouring

تنتج هذه التقنية حلقات تداخل تمثل تقاطع الجسم ثلاثي الأبعاد مع مجموعة من الأسطح المستوية متساوية المسافات البينية التي تظهر الشكل الخارجى Topography للجسم.

الهولوجرامات الملونة Color Holograms

صورة الجسم متعددة الألوان يمكن الحصول عليها من هولوجرامات الجسم المسجل باستخدام ثلاثة أطوال موجية منتقاة بعناية. عندما يضاء الهولوجرام بضوء مشتق من جميع الأطوال الموجية الثلاثة، الصور المعاد ترتيبها بألوان مختلفة تتراكب منتجة صورة متعددة الألوان.

9.7 التطبيقات فى المجال الطبي والبيولوجي
Applications of Holography in Medicine and Biology

تقنية الهولوجرافى لها تطبيقات عديدة ومتنوعة فى المجال الطبي والبيولوجي. وقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى تتم دون أن تلامس الجسم وغير هدامة وتقدم مدى واسع من التطبيقات فى معظم المجالات الطبية مثل طب المسالك البولية، العيون، الأسنان والأذن والحنجرة ..... إلخ.

علاوة على ذلك، التحسن الجديد فى تقنيات الهولوجرام وإمكانية الحصول على أدوات تفسير الهولوجرامات الناتجة من الهولوجرام ونجاح تقنية الهولوجرافى فى التصوير خلال الأنسجة، فى طب العيون والأسنان والمسالك البولية والأذن والأنف والحنجرة، تعد بمستقبل باهر كأداة فاعلة فى التطبيقات الطبية. الصور الهولوجرافية ثلاثية الأبعاد للعيون والفحص الهولوجرافى للأسنان وحركة الصدر أثناء التنفس يمكن أن يتم بسهولة ويسر.

ونوجز فيما يلي بعض تطبيقات الهولوجرافى فى المجال الطبى.

1- الهولوجرافى فى طب الأذن والحنجرة Holography in Otology

تستخدم تقنيات مقياس التداخل الضوئى الهولوجرافى المضاعف التعريض وأيضا المتوسط الزمني فى دراسة الأجزاء المختلفة للأذن البشرية وأيضا فى دراسة السلوك التذبذبي لأجزاء الأذن الداخلية.

والجدير بالذكر أن طريقة القياس بالتداخل الضوئي الهولوجرافى مزدوج التعريض باستخدام ليزر الياقوت بتحويل Q لتحليل نظم ذبذبة طيلة إذن الإنسان ويتابع عملية التسخين فى التهاب طبلة الأذن والعمليات التي تجرى عليها. بدون فتح تجويف العملية الجراحية.

2- الهولوجرافى فى طب العيون Holography in Ophtalmology

الحصول على صور ثلاثية البعد للعين كان واحدا من أهم تطبيقات الهولوجرافى فى مجال طب العيون. أي انفصال شبكي أو أي جسم غريب داخل العين يمكن كشفه بهذه الوسيلة كما يمكن تطبيق هذه التقنية أيضا لقياس التصوير المقطعي للقرنية والتغيرات فى العدسة البلورية، ودراسة الخصائص السطحية للقرنية. الطريقة المتبعة حاليا فى تقدير شكل السطح المركزي تفقد (تخطئ أو تهمل) الجزء المركزي وحوافه الميزة الأعظم لتقنية الهولوجرافى تكمن فى الدقة الفائقة التي تتم بها هذه القياسات. يمكن قياس التمدد المرن للقرنية بمقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى. هذه المعلومات تمثل أهمية حيوية فى مجال جراحة القرنية. تمدد القرنية المستخلصة من عينى الثيران الحديثة تم فحصها كنتيجة لزيادة صغيرة فى ضغط داخل العين باستخدام مقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى مضاعف التعريض. أظهرت الفحوصات الأولى أن كل قرنية ثور لها تمددها الخاص بها. أظهرت الدراسات التى أجريت أن الهولوجرافى لها قدرة عالية فى فحص تغيرات القرنية والعدسة والخصائص السطحية لكل من الرأس العصبي والشبكية.

3- الهولوجرافى فى طب الأسنان Holography in Dentistry

يستخدم هولوجرافى ليزرات الموجة المستمرة وأيضا ليزرات النبضة فى مجال طب الأسنان. ويمثل الهولوجرام وسيلة سهلة لتخزين بصمات الأسنان. يستخدم الهولوجرافى مضاعف التعريض فى تسجيل حركة الأسنان وتركيباتها النسبية فى مدى القياس من 0.5 إلى 30 ميكرومتر.

تلخيصا لما سبق فإن مقياس التداخل الضوئي الهولوجرافى يستخدم على نطاق واسع بنجاح منقطع النظير فى دراسة الأجزاء المختلفة فى جسم الإنسان.

تم بحمد الله

ونشكر الله

obeikandl.com

كتب للمؤلف

1- أساسيات وتطبيقات أطياف الأشعة تحت الحمراء .

دار النشر للجامعات (1999) .

2- أساسيات وتطبيقات مطيافية رامان .

دار النشر للجامعات (2002) .

3- أساسيات وتطبيقات مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية .

دار النشر للجامعات (2003) .

4- الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان

(الجزء الأول)

دار النشر للجامعات (2004) .

5- الطبيعة والتكنولوجيا وصحة الإنسان

(الجزء الثاني)

الأشعة الكهرومغناطيسية وصحة الإنسان

دار النشر للجامعات (2005) .

6 – عالم الكربون المدهش

استخدامات صور الكربون الجديدة

في الطب والصناعة

دار النشر للجامعات

(تحت الطبع)

obeikandl.com