وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
University of Kusdi Merbah Ouargla
كلية الرياضيات وعلوم المادة
Faculty of Mathematics and Sciences of matter
قسم الفيزياء
Département of Physics

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي في الفيزياء

المجال: علوم المادة

الشعبة: فيزياء

التخصص: فيزياء طبية

من إعداد الطالبة : *منال ربوح *مروة علالي

بعنوان:

دراسة تاثير الاشعاع المرئي على خصائص السوائل البيولوجية: دراسة

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

الأستاذ/ محمدي لزهر استاذ تعليم عالي" أ " جامعة قاصدي مرباح- ورقلة.) رئيسا.

الأستاذة/ عياط زهية استاذ تعليم عالي" أ " جامعة قاصدي مرباح- ورقلة.) مشرفا ومقررا.

الأستاذ/ بن مبروك الازهر استاذ تعليم عالي" أ " جامعة قاصدي مرباح- ورقلة.) مناقشا.

السنة الجامعية : 2025-2026

الإهداء

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار، إلى من علّمني العطاء دون انتظار، إلى رمز المحبة والأمان... والدي العزيز "**ربوح محمد الحافظ**"، أطال الله في عمره.

إلى من كان دعاؤها سرّ نجاحي، وحنانها بلسم جراحي، إلى نبع الصبر والتضحية... والدتي الغالية " **ربوح سعاد**"، حفظها الله ورعاها.

إلى سندي وعضدي في هذه الحياة، إخوتي وأخواتي، "**الهام، ليندة، عواطف، عبد النور، وعبد الرؤوف...**"، من شاركوني لحظات التعب والفرح.

إلى من جمعتني بهم مقاعد الدراسة وسنين الكفاح، أصدقائي الأوفياء الذين كانوا خير سند ومعين "**خيرة، وامينة...**" شكراً لكم لأنكم جعلتم هذا الطريق الموحش يبدو مأهولاً بالضحكات والدعم.

إلى كل من ذكرهم القلب ونسيهم القلم، إلى كل من علمني حرفاً أو أسدى لي نصحاً.. أهديكم ثمرة جهدي هذا.

منال ربوح

الإهداء

إلى من كان دعاؤهم يسبق خطاي، ورضاهم سرّ نجاحي...

إلى من تعجز الكلمات عن وصف فضلهم، ويعجز القلب عن ردّ جميلهم...

والديّ الكريمين **(علالي ميلود)** و**(طيبي فظيلة)**، حفظهما الله وأدامهما نوراً في حياتي.

إلى من تقاسمت معهم لحظات الحياة، بحلوها ومرّها، وكانوا دائماً

سندي وقوتي...

إخوتي وأخواتي كلهم بأسماءهم

إلى الأرواح التي رافقتني في درب العلم، فخفّفت عني ثقل الأيام،

وزرعت في قلبي الأمل...

إلى أصدقائي وكل من كان لهم أثر جميل في مسيرتي.

إلى كل من مدّ لي يد العون، أو منحني كلمة طيبة كانت سبباً في

استمراري...

أهدي هذا العمل، الذي هو ثمرة جهدٍ لم يكن ليكتمل لولا دعمكم،

راجيةً من الله أن يجعله بداية خير وتوفيق.

مروة علالي

شكر وعرفان

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على

أشرف المرسلين.

بعد إتمام هذا الجهد المتواضع، نتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى الأستاذ الفاضل والمشرف القدير: " **بن مبروك لزهر** "، الذي لم يبخل علينّا بتوجيهاته القيمة ونصائحه السديدة، وكان لمتابعته المستمرة ودعمه العلمي الأثر البالغ في إخراج هذه المذكرة إلى النور، فجزاه الله عنا خير الجزاء.

ونتقدم بجميل الشكر والتقدير إلى جميع أساتذتنا الكرام الذين علمونا الأدب قبل العلم، نسأل الله أن يبارك فيهم وفي علمهم وأن يرعاهم ويحفظهم بحفظه.

كما لا ننسى أعضاء لجنة المناقشة "**د.عياط زهية**" و "**د. محمدي الازهر**" الذين قطعوا جزءا من وقتهم الغالي للنظر فيما يصلح هذه المذكرة، جعل الله جهدهم في ميزان حسناتهم

كما نتقدم بالشكر الجزيل إلى عمال "**مصحة عادة**" و"**مخبر الاشعاع والبلازما وفيزياء السطوح**" الذين قدموا لنا يد العون والتسهيلات اللازمة لإنجاز الدراسة المخبرية.

الملخص:

تتناول هذه الدراسة تأثير الإشعاع المرئي على الخصائص الفيزيائية والبيوكيميائية للدم البشري، باعتباره أحد أهم السوائل البيولوجية المعقدة. حيث تم تعريض عينات دم وريدي لإشعاع ضوئي مرئي لفترات زمنية متفاوتة (10 و20 دقيقة)، ومقارنتها بعينات شاهدة تحت ظروف مخبرية ثابتة. تم استخدام تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير (FTIR) لتتبع التغيرات الجزيئية في روابط الأميد والدهون الغشائية، بالإضافة إلى إجراء تحليل تعداد الدم الكامل (FNS) والتحاليل البيوكيميائية (LDH وVS).

أظهرت النتائج أن للإشعاع المرئي تأثيراً تراكمياً؛ حيث أدى التعرض لمدة 20 دقيقة إلى اضطراب هيكلي في الأغشية الخلوية وانزياح في روابط البروتينات، مما نتج عنه ارتفاع حاد في سرعة الترسيب (VS) وزيادة في نفاذية الغشاء لتسريب إنزيم LDH. كما كشفت الدراسة عن حساسية انتقائية عالية للصفائح الدموية تجاه التحفيز الضوئي مقارنة بمكونات الدم الأخرى. ولخصت الدراسة إلى ضرورة ضبط الظروف الضوئية في المختبرات لضمان استقرار العينات الحيوية ودقة تشخيصها.

الكلمات المفتاحية: سوائل بيولوجية، دم، إشعاع مرئي، مطيافية FTIR، خصائص ريولوجية، أكسدة ضوئية.

Abstract:

This study investigates the impact of visible radiation on the physical and biochemical properties of human blood, as it is one of the most complex biological fluids. Venous blood samples were exposed to visible light for varying durations (10 and 20 minutes) and compared with control samples under stable laboratory conditions. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was employed to track molecular changes in amide bonds and membrane lipids, in addition to conducting a Full Blood Count (FNS) and biochemical analyses (LDH and VS).

The results demonstrated that visible radiation has a cumulative effect; exposure for 20 minutes led to structural disruption of cellular membranes and a shift in protein bonds, resulting in a sharp increase in the Erythrocyte Sedimentation Rate (VS) and increased membrane permeability, leading to the leakage of the LDH enzyme. The study also revealed a high selective sensitivity of platelets toward photo-stimulation compared to other blood components. The study concluded with the necessity of controlling light conditions in laboratories to ensure the stability of biological samples and the accuracy of their diagnosis..

Keywords: Biofluids, Human Blood, Visible Radiation, FTIR Spectroscopy, Rheological Properties, Photo-oxidation.

الفهرس

Table des matières

I.....الإهداء.

III.....شكر وعرفان...

IV.....الملخص:...

VI.....الفهرس...

VIII.....قائمة الاشكال والصور.....

X.....قائمة الجداول..

XI.....قائمة الرموز...

1.....مقدمة:..

الجانب النظري

الفصل الأول: عموميات حول الإشعاع المرئي

3.....تمهيد:..

I-1- ماهية الاشعاع المرئي واهميته الحيوية 3

I-2-الخصائص الفيزيائية للإشعاع المرئي 5

I-3-الاليات الفيزيائية لتأثير الاشعاع المرئي 8

I-4-تأثير الضوء على الاستجابات الفيزيولوجية للإنسان 13

I-5-استخدامات تأثيرات الشعاع المرئي في التشخيص والعلاج 17

20.....خلاصة:....

21.....مراجع الفصل الأول:....

الفصل الثاني: عموميات حول السوائل البيولوجية (الدم كنموذج)

24 .....تمهيد:....

II-1-السوائل البيولوجية: التعريف والأنواع

.....

II-2-الدم كنموذج للسوائل البيولوجية 27

II-3-المكونات الأساسية للدم (الخلوية والسائلة) 31

II-4-الوظائف الحيوية والفسيولوجية لمكونات الدم 34

II-5-الخصائص الفيزيائية العامة (الميكانيكية والريولوجية) للدم [27] 36

II-6-الخصائص البصرية والفيزيائية للدم (تفاعل الضوء مع الدم) 38

II-7-ثابت الامتصاص للدم عند أطوال موجية مختلفة 38

II-8-تأثير الاشعاع المرئي على الخصائص الفيزيولوجية (للسوائل والانسجة) 39

II-9-العوامل المؤثرة على استقرار العينات الفيزيولوجية 40

41 .....خلاصة:....

42.....مراجع الفصل الثاني:....

الجانب التطبيقي

الفصل الثالث: تأثير الشعاع المرئي على عينة الدم

46 .....تمهيد:....

46 .....III-1-الأهداف:....

46.....III-2-مبدأ العمل:....

46 .....III-3-أدوات العمل:....

III-4-طريقة العمل (البروتوكول التجريبي): 47

55.....III-5-التحاليل المخبرية....

III-6-عرض وتحليل وتفسير النتائج 57

III -7-المناقشة العامة للنتائج 59

63 .الخلاصة.والاستنتاج.العام:....

64.....مراجع.الفصل.الثالث:....

59 ..... الخاتمة العامة....

59 ..... الملاحق....

قائمة الاشكال والصور

الرقم	العنوان	الصفحة
الشكل(I-1)	مخطط الطيف الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Spectrum)	04
الشكل(I-2)	خصائص ضوء الليزر مقابل الضوء العادي (Laser Properties)	05
الشكل(I-3)	ترابط موجات الضوء	07
الشكل(I-4)	تفاعل الضوء مع الأنسجة (Light-Tissue Interaction)	08
الشكل(I-5)	الانعكاس	08
الشكل(I-6)	التشتت	09
الشكل(I-7)	الانتشار	09
الشكل(I-8)	الامتصاص	10
الشكل(I-9)	امتصاص الكروموفور الرئيسي	10

الشكل (I-10)	امتصاص طاقة الليزر في الأنسجة	11
الشكل (I-11)	المناطق الحرارية بعد تأثير الليزر	12
الشكل (I-12)	اعماق اختراق الليزر للأنسجة عند أطوال موجية مختلفة	12
الشكل (I-13)	آلية التحفيز الضوئي في الميتوكوندريا (Complex IV Activation)	13
الشكل (I-14)	مسارات الإشارات الخلوية الداخلية التي يتم تنشيطها بواسطة العلاج الضوئي الحيوي	16
الشكل (I-15)	آلية العلاج الضوئي الديناميكي	18
الشكل (I-16)	آليات العلاج بالليزر منخفض المستوى (LLLT)	19
الشكل (I-17)	العلاج بالضوء الساطع (Bright Light Therapy) باستخدام صناديق ضوئية	20
الشكل (II-1)	مكونات الدم	25
الشكل (II-2)	الدم (خلايا دم الحمراء والبيضاء)	28
الشكل (II-3)	فصائل الدم ونسب توزيعها بين سكان العالم	29
الشكل (II-4)	الفرق بين التدفق الطبيعي ووجود الخثرة الدموية	30

الشكل(II-5)	مورفولوجيا (شكل) خلايا الدم	33
الشكل(II-6)	صورة مكونات الدم بعد فصله بتقنية الطرد المركزي	34
الشكل(II-7)	وظيفة خلايا الدم الحمراء	35
الشكل(II-8)	الفرق بين دم الشرايين ودم الاوردة	36
الشكل(III-1)	أدوات العمل	47
الشكل(III-2)	تقسيم عينات الدم	48
الشكل(III-3)	جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR - Cary 630)	49
الشكل(III-4)	طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لعينة الدم "الشاهد"(بدون تعرض للإشعاع)	50
الشكل(III-5)	طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لعينة الدم بعد تعرضها للإشعاع المرئي لمدة 10دقائق	51
الشكل(III-6)	طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR)لعينة الدم بعد تعرضها للإشعاع المرئي لمدة 20دقيقة	52

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
الجدول(I-1)	تغيرات الأنسجة مع ارتفاع درجة الحرارة	11

الجدول (II-1)	فصائل الدم	28
الجدول (II-2)	وظائف الدم الفيزيولوجية	31
الجدول (III-1)	التغيرات الهيكلية والجزيئية بين عينات الدم (شاهد، 10د، 20د)	54
الجدول (III-2)	النتائج التجريبية	55
الجدول (III-3)	النتائج المخبرية Vitesse LDH	56
الجدول (III-4)	ملخص المقارنة والفرق	59
الجدول (III-5)	المقارنة التكاملي لنتائج تأثير الإشعاع المرئي على الدم	61

قائمة الرموز

أولاً: الرموز الفيزيائية

- **λ :** الطول الموجي (Wavelength)
- **E :** الطاقة أو طاقة الفوتون (Energy)
- **h :** ثابت بلانك (Planck's constant)
- **c :** سرعة الضوء (Speed of light)
- **n:** معامل الانكسار (Refractive index)
- **□□:** ثابت العزل أو السماحية (Dielectric constant)
- **μ_s :** معامل التشتت (Scattering coefficient)
- **pH:** معامل التشتت (Scattering coefficient)

ثانياً: المختصرات العلمية والطبية

- **FTIR** : مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
- **RBCs** : كريات الدم الحمراء (Red Blood Cells)
- **WBCs** : كريات الدم البيضاء (White Blood Cells)
- **PLT** : الصفائح الدموية (Platelets)
- **Hb** : الهيموجلوبين (Hemoglobin)
- **VS / ESR** : سرعة ترسب الكريات الحمراء (Erythrocyte Sedimentation Rate)
- **MCV** : متوسط حجم الكرية (Mean Corpuscular Volume)
- **P-LCC** : تعداد خلايا الصفائح الكبيرة (Platelet Large Cell Count)
- **EDTA** : إيثيلين ثنائي أمين حمض الخليك - مانع تجلط (Ethylenediaminetetraacetic acid)
- **UV** : الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet)
- **IR** : الأشعة تحت الحمراء (Infrared)

ثالثاً: وحدات القياس

- **nm** : نانومتر (وحدة قياس الطول الموجي(
- **cm^{-1}** : سنتيمتر مكسوس (وحدة العدد الموجي في جهاز (FTIR)

- **min** : دقيقة (وحدة زمن التعريض للإشعاع(
- **cP** : سنتيبواز (وحدة قياس اللزوجة(
- **mm/h** : ملم في الساعة (وحدة قياس سرعة الترسيب(
- **U/L** : وحدة لكل لتر (وحدة قياس نشاط الإنزيمات(

المقدمـــة العامة

مقدمة:

يُعد الضوء المرئي شرطاً جوهرياً لاستمرار الحياة على كوكب الأرض، فهو المصدر الأساسي للطاقة في معظم النظم البيئية. وتتجاوز أهمية الضوء مجرد كونه وسيلة للإبصار، إذ يمتد تأثيره ليدخل في تنظيم أدق التفاعلات الحيوية في العالم الحي، بدءاً من المستوى الجزيئي داخل الخلايا وصولاً إلى الأنماط السلوكية المعقدة للكائنات الحية.

من الناحية الفيزيائية، يُعرف الضوء المرئي بأنه إشعاع كهرومغناطيسي تقع أطواله الموجية في المدى ما بين 380 و780 نانومتر. وتكمن القدرة التأثيرية لهذا الإشعاع في طاقة فوتوناته التي تتراوح بين 1.6 و3.2 إلكترون فولت، وهي طاقة كافية لإحداث تغييرات ملموسة عند تفاعلها مع المادة الحية عبر آليات متعددة، أبرزها وأكثرها أهمية هي عملية الامتصاص (Absorption).

وعند تسليط هذا الإشعاع بأطوال موجية محددة على السوائل البيولوجية، فإنه يؤدي إلى سلسلة من التفاعلات الفيزيائية والكيميائية الضوئية. فعلى سبيل المثال، أظهرت الدراسات أن التعرض لأطوال موجية معينة (مثل الضوء الأحمر عند 650 نانومتر) يمكن أن يحسن الخصائص المرنة للأنسجة، بينما تعمل كثافات أخرى على تغيير استقرار المكونات السائلة عبر عمليات الأكسدة الضوئية وتغيير الأس الهيدروجيني (pH).

وتتمثل المادة الحية المستهدفة بهذا التأثير في "السوائل البيولوجية"، وهي أوساط مائية معقدة وغير متجانسة تعمل كقنوات لنقل العناصر والغازات، ويُعد الدم النموذج الأمثل لهذه السوائل كونه نسيجاً ضاماً سائلاً يستجيب ديناميكياً للمؤثرات الفيزيائية الخارجية.

بناءً على ما سبق، تهدف هذه الدراسة المخبرية إلى دراسة تأثير الإشعاع المرئي على عينات الدم، من خلال تحليل التغيرات في خصائصها الفيزيائية والكيميائية، لفهم حدود التأثير الإيجابي والسلبي لهذا النوع من الإشعاع على الوظائف الحيوية للسوائل البيولوجية.

الجانب النظري

الفصل الأول:

تمهيد:

تنطلق الدراسة في هذا الفصل من الركيزة الفيزيائية التي تفسر ماهية الإشعاع المرئي، ليس بوصفه مجرد وسيلة للإدراك البصري، بل باعتباره دالة طاقوية تخضع لقوانين ميكانيكا الكم والفيزياء الموجية. إن فهم التأثير الحيوي لهذا الإشعاع يتطلب بالضرورة تفكيك خصائصه الجوهرية، بدءاً من ثنائية (الموجة-الجسيم) وصولاً إلى السلوك الطيفي للأطوال الموجية المختلفة.

سنتناول في هذا السياق مفهوم "الإشعاع"، والذي يشير إلى تطويع الخصائص الفيزيائية للضوء عبر ضبط الشدة، والتردد، وزمن التعريض لإحداث استجابات فيزيولوجية محددة. وتبرز هنا أهمية دراسة "الآليات التفاعلية" التي تحدث عند اصطدام الفوتونات بالمادة الحية، حيث تتحول الطاقة الإشعاعية عبر عمليات الامتصاص والتبدد إلى إشارات بيوكيميائية وتغيرات فيزيائية ملموسة.[01]

من خلال هذا الفصل، سيتم تسليط الضوء على المسار الذي يسلكه الإشعاع منذ انبعاثه من المصدر حتى لحظة تفاعله مع الأنسجة والسوائل، مرورا بتطبيقاته الحديثة في مجالي التشخيص والعلاج، مما يشكل الأرضية النظرية اللازمة لفهم النتائج المخبرية التي سيتم عرضها في الجانب التطبيقي من هذه الدراسة.

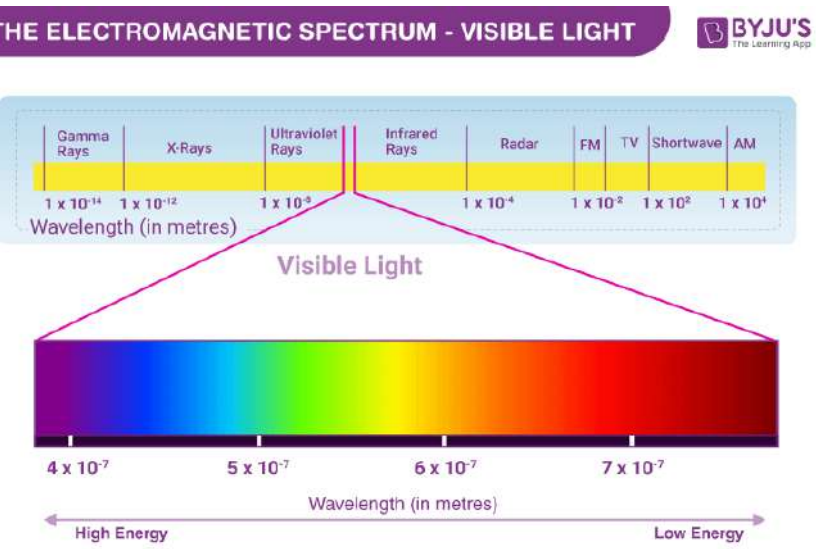
I-1- ماهية الاشعاع المرئي واهميته الحيوية

I-1-1-ماهية الاشعاع المرئي:

الإشعاع المرئي (Visible Radiation) هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمكن للعين البشرية اكتشافه وتفسيره، ويُعرف بـ "الضوء المرئي". يتراوح طوله الموجي بين 400 و 700 نانومتر تقريباً، ويشمل ألوان الطيف من البنفسجي (أقصر موجة) إلى الأحمر (أطول موجة). يُعد إشعاعاً غير مؤين، وتُعتبر الشمس المصدر الطبيعي الرئيسي له.

ويُعرف الإشعاع المرئي فيزيائياً بأنه طيف ترددي محصور بين 380 و750 نانومتر.

وتكمن أهميته في كونه يمتلك طاقة فوتونية تتراوح بين 1.65 و3.26 (eV)إلكترون فولت. هذه الطاقة هي الوحيدة القادرة على إحداث انتقالات إلكترونية مكممة في الجزيئات الحيوية دون تدمير بنيتها النووية. [02]



الشكل رقم(I-1): مخطط الطيف الكهرومغناطيسي ([03] Electromagnetic Spectrum)

يتراوح طول موجة الضوء المرئي بين 400 و700 نانومتر، وتردده بين 400 و800 تيراهيرتز. هذا الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي قابل للرؤية والتمييز بالعين البشرية. عند مرور الضوء الأبيض عبر الموشور، ينقسم إلى ألوان الطيف المرئي السبعة والشمس مثال على مصدر طبيعي للضوء المرئي.

I-1-2-تاريخيا:

استخدمته الحضارات القديمة (الهند ومصر(قبل آلاف السنين (علاج البهاق بأشعة الشمس) [04]. وبدأ التحول من "العلاج الشمسي" التقليدي إلى "الطب الضوئي الجزيئي" عام 1968 باستخدام الليزر لتحفيز الأنسجة لتسريع التئام الجروح وتخفيف الألم. [02]

في نهاية القرن التاسع عشر، تم اكتشاف الإشعاع، وبدأت التفرقة بين الإشعاع المؤين (عالي الطاقة) وغير المؤين (منخفض الطاقة) الذي يشمل الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، موجات الراديو، والميكروويف.

منذ أوائل القرن العشرين، استُخدمت الأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي في العلاجات الحرارية (مثل العلاج بالحرارة) وعلاج بعض الأمراض الجلدية (مثل الصدفية) باستخدام الأشعة فوق البنفسجية.

شكل اختراع الليزر (الضوء المتماسك) نقلة نوعية في الستينيات، حيث بدأ استخدامه الدقيق في الجراحات (مثل جراحة العيون) والطب، مما يعد أحد أهم أشكال الإشعاع غير المؤين المعالج.

مع زيادة استخدامات الإشعاع غير المؤين (مثل الاتصالات والمعدات الطبية)، أصدرت اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP) تقييمات ومبادئ توجيهية في عام 1993 وما بعده لتقييد التعرض للمجالات المغناطيسية والكهربائية.

يستخدم حالياً في التصوير الحراري، علاجات الأورام السطحية، والعمليات الجراحية الدقيقة، مع تركيز دائم على الوقاية من التأثيرات الحرارية على الأنسجة الحية. [05]

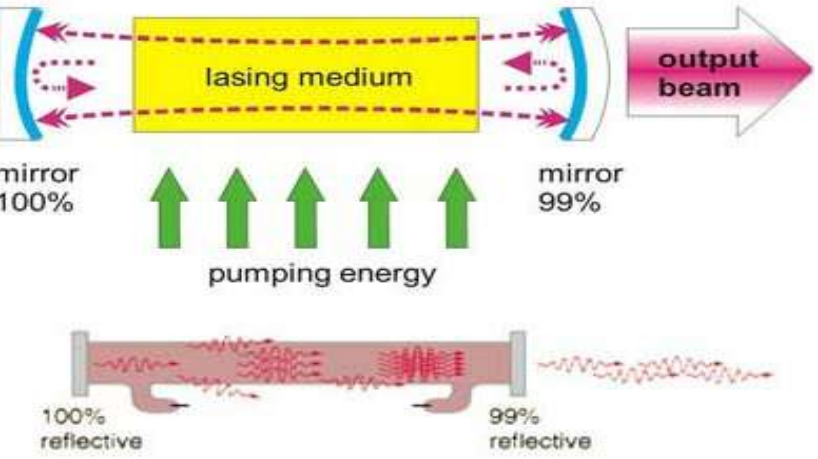
I-1-3-القدرة النفاذية: يُستخدم الاشعاع المرئي في العلاج الضوئي لقدرته على التوغل بعمق في الأنسجة، مما يتيح شفاء الإصابات والأمراض. [02]

I-1-4-الأهمية الفسيولوجية: ان الاشعاع المرئي ضروري للحياة (التمثيل الضوئي)، والرؤية، وتنظيم الوظائف الفسيولوجية والجسدية عبر التفاعل مع الخلايا والمستقبلات الحسية. [06] [04]

I-2-الخصائص الفيزيائية للإشعاع المرئي

I-2-1-الطبيعة الموجية والجسيمية: يتسم الاشعاع المرئي بالطول الموجي والتردد (علاقة عكسية) والطاقة التي تتناسب طردياً مع التردد ويخضع للعلاقة الطاقية $E = h\nu$ ؛ حيث تحدد الأطوال الموجية اللون والقدرة التفاعلية مع المادة. [06]

I-2-2-خصائص الليزر (الإشعاع المعالج): يتميز الإشعاع (الليزر) بخصائص لا تتوفر في الضوء العادي كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل رقم(I-2): خصائص ضوء الليزر مقابل الضوء العادي ([07] Laser Properties)

أ-الأحادية اللونية: (Monochromaticity) تعني أن جميع الفوتونات تمتلك نفس الطول الموجيλ، وبالتالي نفس الطاقة E وفقا لمعادلة بلانك: $E = hv = (hc) / \lambda$

حيث:

- E الطاقة؛
- h ثابت بلانك(6.626×10^{-34} J.s) ؛
- c سرعة الضوء؛
- λ الطول الموجي.

هذا يسمح باستهداف إنزيمات محددة مثل مؤكسد سيتوكروم سي (Cytochrome c oxidase) هو إنزيم مشارك في سلسلة تنفس الخلايا بسلسلة نقل الالإلكترونات من متركس الميتوكوندريا إلى بروتين عبر غشاء المتقدرة. [02]

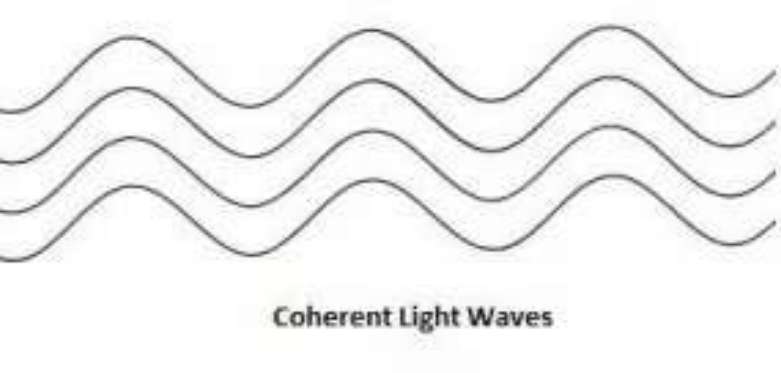
وتعني أحادية اللون:

- الضوء أحادي اللون يعني الضوء ذو طول موجي واحد فقط (تردد واحد) ؛
- لا يوجد فرق في التردد بين الفوتونات. لذا فإن شعاع الليزر هو شعاع أحادي اللون؛
- الضوء المنبعث من الليزر أحادي اللون، أي أنه ذو طول موجي واحد؛
- في المقابل، فإن الضوء الأبيض العادي هو مزيج من العديد من الأطوال الموجية

المختلفة.

ب-الترابط: (Coherence) قدرة الموجات على الحفاظ على علاقة طور ثابتة ($\Delta\varnothing$ = constant)، مما يسمح بحدوث ظواهر التداخل البناء داخل الأنسجة. [02]

- يتميز ضوء الليزر بدرجة عالية من التماسك؛
- جميع الفوتونات المنبعثة لها علاقة طور ثابتة، أي أنها في نفس الطور؛
- إن الضوء الصادر من الليزر متماسك، مما يعني أن أطوال موجات ضوء الليزر متوافقة في الطور في المكان والزمان.



الشكل رقم(I-3): ترابط موجات الضوء[08]

I-2-3-الاستقطاب :(Polarization) توصف حالة الضوء بمتجهات "ستوكس (Stokes Parameters) " هي مجموعة من أربعة مقادير (S_0,S_1,S_2,S_3) تستخدم في علم البصريات لوصف حالة الاستقطاب والشدة الكلية للضوء (المستقطب كلياً، جزئياً، أو غير المستقطب). تعتمد هذه المتجهات على شدة الضوء المار عبر مرشحات استقطاب مختلفة، حيث يمثل S_0 الشدة الكلية، بينما تصف (S_1,S_2,S_3) طبيعة الاستقطاب الخطي والدائري.

عند الضوء في الدم، تتغير حالة الاستقطاب نتيجة التشتت المتعدد، عند مروره عبر الدم إلى تغيير حالة استقطابه، حيث توفر هذه التغيرات معلومات دقيقة حول الخصائص الفيزيائية مثل شكل وحجم كريات الدم الحمراء تعتمد هذه التقنية على كيفية تفاعل الضوء مع التركيبات البيولوجية. [09]

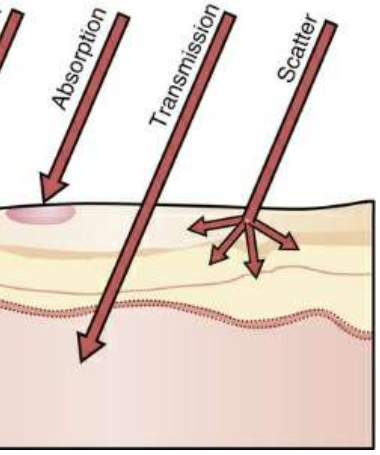
I-2-4-مكونات نظام الليزر: يتألف من مصدر طاقة، وسط ليزر (صلب، سائل، غاز)، وحجرة رنين بمرآتين لمضاعفة الأشعة. [10]

- **وسط الليزر الفعال**: هو "قلب" الليزر، ومسؤول عن تضخيم الضوء. أمثلته: بلورات صلبة (مثل Nd:YAG)، غازات (مثل الهليوم-نيون أو CO_2)، أو صبغات سائلة؛
- **مصدر الطاقة:** يعمل على توفير طاقة الإثارة (مثل مصباح الوميض أو التفريغ الكهربائي) لإثارة ذرات الوسط الفعال؛
- **حجرة الرنين البصري:** تتكون من مرآتين، إحداهما عاكسة كلياً والأخرى عاكسة جزئياً، حيث تعكسان الفوتونات ذهاباً وإياباً، مما يزيد من كثافة الفوتونات (مضاعفة الأشعة) وتوجيهها قبل الخروج. [11]

يتمثل دور هذه المكونات في تحويل الطاقة إلى ضوء مترابط ذو اتجاه واحد.

I-3-الاليات الفيزيائية لتأثير الاشعاع المرئي

عند سقوط الضوء على الوسط البيولوجي، يتم وصف انتقال الطاقة عبر معادلة الانتقال الإشعاعي.(RTE) وتتم الآليات كالتالي:

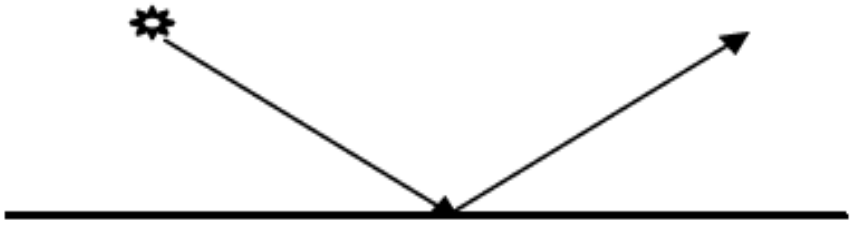


الشكل رقم(I-4): تفاعل الضوء مع الأنسجة (Light-Tissue Interaction) [12]

يمكن تصنيف تفاعلات الضوء المرئي مع الأنسجة عند التلامس إلى أربعة أنواع: الانعكاس، والامتصاص، والتشتت، والنفاذ. يُهدر الانعكاس طاقة الليزر ويجعله غير مناسب للتطبيقات الطبية. يتأثر الامتصاص على السطح بالعديد من الصبغات، ويساعد النفاذ الشعاع

على اختراق نسيج السطح للوصول إلى الطبقات الداخلية. على سبيل المثال، يُساعد اختيار الضوء المرئي بدلًا من الأشعة فوق البنفسجية على اختراق الضوء للقرنية والعدسة، وتصوير طبقة الشبكية. أخيرًا، يُعيق التشتت توصيل طاقة الليزر بدقة إلى نقطة محددة. سنركز على خصائص الامتصاص وأعماق النفاذ، باعتبارها الأشكال الرئيسية لتفاعلات الليزر مع الأنسجة. [13]

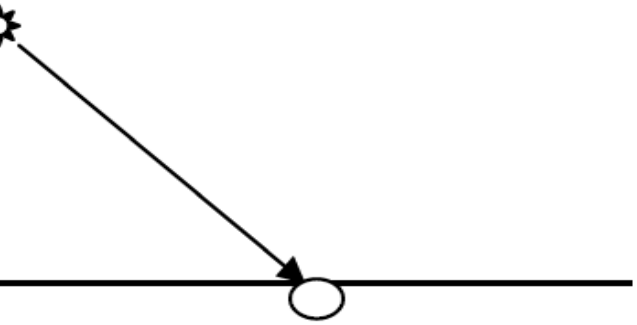
I-3-1-الانعكاس (Reflection) : يحدث الانعكاس على سطح الجلد أو الأنسجة وتعتمد كفاءة العلاج على ميزانية الضوء النافذ مقابل المنعكس عن السطح. [04]



الشكل رقم(I-5): الانعكاس[14]

I-3-2-التشتت:(Scattering) يحدث تشتت "ماي"(Mie Scattering) لأن حجم الخلايا أكبر من الطول الموجي وهو ظاهرة فيزيائية تحدث عندما يتفاعل الضوء مع جسيمات كروية (كالغبار، قطرات الماء، الهباء الجوي) يتساوى حجمها أو يزيد عن طول موجة الضوء الساقط. [15]

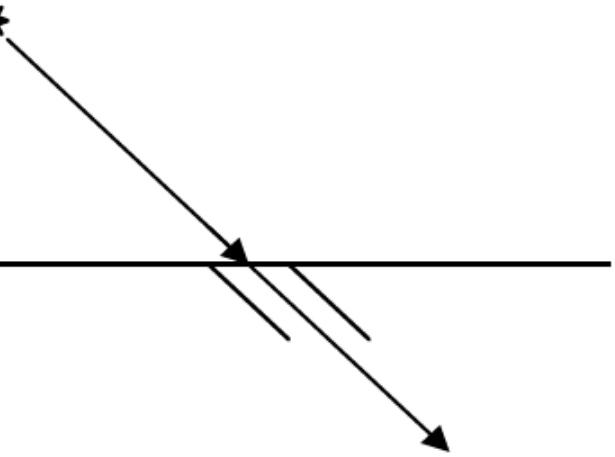
يمكن تغيير توزيع طاقة ضوء المرئي داخل النسيج عند تشتت الشعاع خلاله الشكل (I-6). إذا تم امتصاص الطاقة المتشتتة في نهاية المطاف، فإنها ستتحول إلى حرارة. كما يمكن أن يتشتت شعاع الليزر عكسيًا، مما قد يُسبب خطرًا.



الشكل رقم(I-6): التشتت[14]

I-3-3-الانتشار: (Scattering) وهو انحراف الضوء بسبب مكونات الخلايا، وهو ما يحدد حجم النسيج المتأثر. ويوصف بمعامل التشتت μ_s وعامل "عدم المتناحية"(g) في السوائل الحيوية.

يمكن لبعض أطوال موجات الضوء أن تنتقل عبر أنسجة معينة ولكن لها تأثير حراري ضئيل أو معدوم الشكل (I-7).[14]

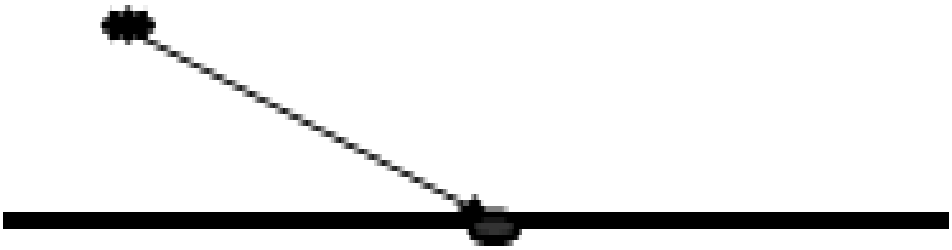


الشكل رقم(I-7): الانتشار[14]

I-3-4-الامتصاص: (Absorption) هو الآلية الأساسية لتحويل الطاقة الضوئية إلى كيميائية أو حرارية عبر "الكروموفورات" ويوصف بقانون "بير-لامبرت" المعمم:

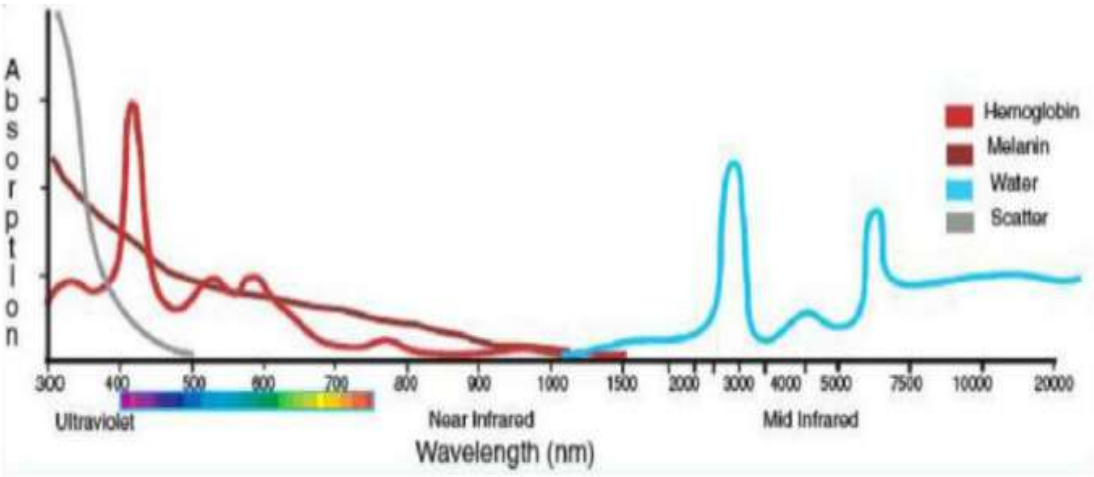
$$I(z) = I_0 . e^{-\propto z}$$

حيث $\propto$ هو معامل الامتصاص في الدم، تمتص الكروموفورات الفوتونات، مما يؤدي لإثارة الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى. [04] [06]



الشكل رقم(I-8): الامتصاص[14]

يمتص الماء الأشعة تحت الحمراء بشكل أساسي، بينما يمتص الهيموجلوبين والميلانين الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية بشكل أساسي، على التوالي. ومع انخفاض الطول الموجي باتجاه البنفسجي وفوق البنفسجي، يحد التشتت أو الامتصاص الناتج عن الروابط التساهمية في البروتين من عمق الاختراق في هذا النطاق الشكل(I-9).



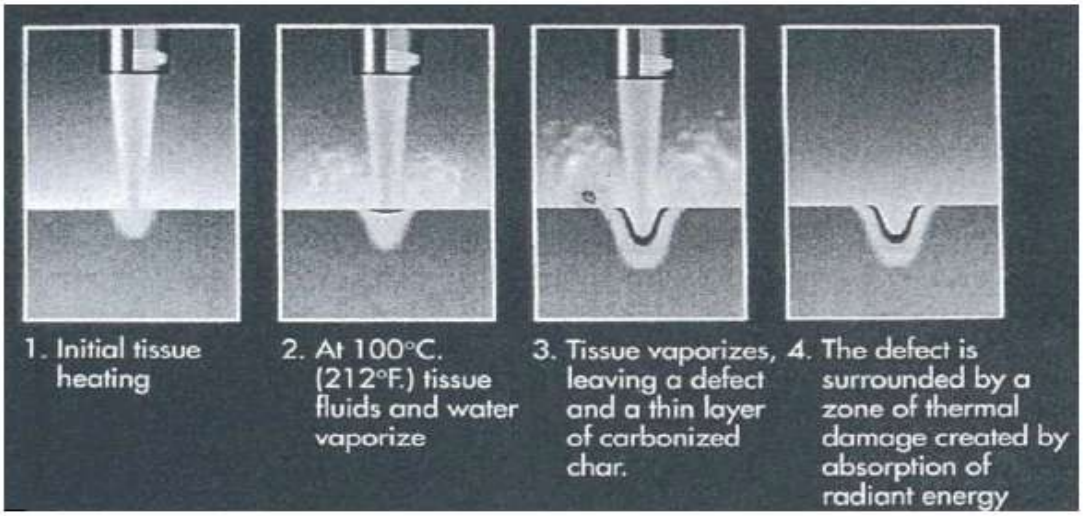
الشكل رقم(I-9): امتصاص الكروموفور الرئيسي[14]

عندما يصطدم الضوء المرئي (الليزر) بالأنسجة ويحدث امتصاص، ترتفع درجة حرارة الماء الخلوي إلى أكثر من 100 درجة مئوية. ويتلف البروتين داخل الخلايا مع استمرار تراكم الحرارة. ثم يتحول الماء داخل الخلية إلى بخار. ولأن غرامًا واحدًا من البخار يشغل حيزًا أكبر من غرام واحد من الماء، ينفجر الغشاء الخلوي تحت هذا الضغط الشديد. وتتناثر الشظايا والدخان (عمود الليزر) من الأنسجة. وتسخن الأنسجة المجاورة بفعل الحرارة الشديدة المتولدة في نقطة الاصطدام. وتعتمد درجة الضرر الحراري على درجة الحرارة التي تصل

إليها طاقة الليزر في الأنسجة. ويوضح الجدول (I-1) التغيرات التي تحدث عند امتصاص شعاع الضوء المرئي. [14]

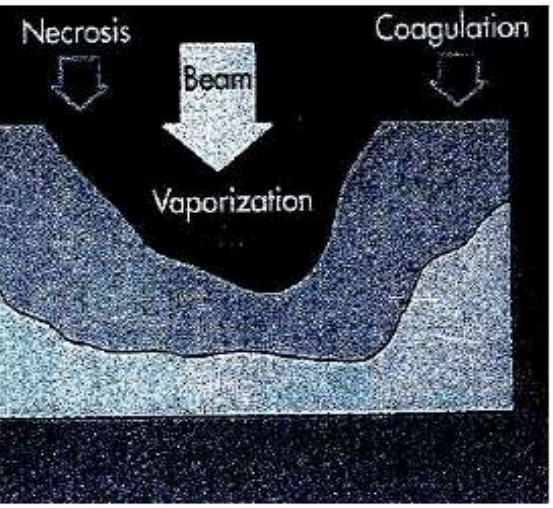
الجدول رقم (I-1): تغيرات الأنسجة مع ارتفاع درجة الحرارة [14]

درجة حرارة	تغيير مرئي	التغير البيولوجي
37-60 درجة مئوية	لا يوجد تغيير مرئي	التسخين واللحام
60-65 درجة مئوية	التبييض	التخثر
65-90 درجة مئوية	أبيض/رمادي	تمسخ البروتين
90-100 درجة مئوية	تجعد	تجفيف
100 درجة مئوية	عمود من الدخان	التبخير، التفحيم



الشكل رقم(I-10): امتصاص طاقة الليزر في الأنسجة [14]

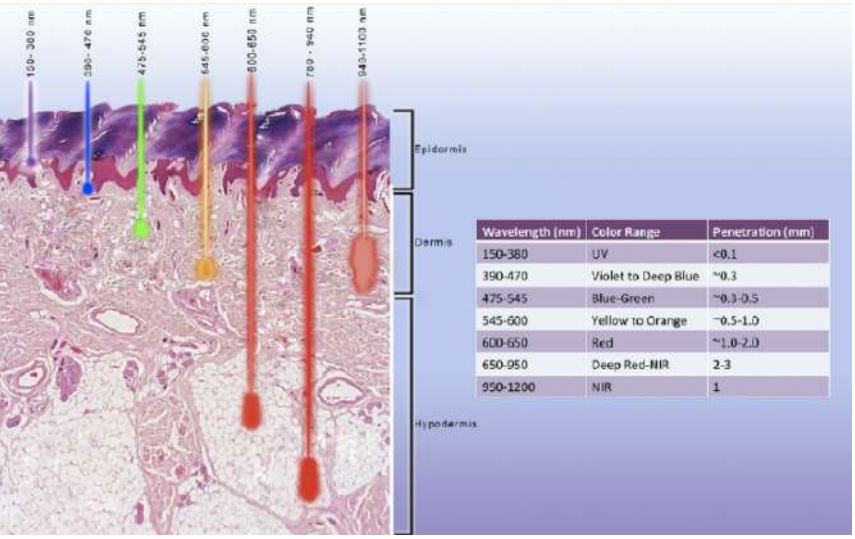
في موقع اصطدام الضوء المرئي (الليزر) بالأنسجة مباشرةً، توجد منطقة تبخر. وبجوار هذا الموقع مباشرةً، توجد منطقة نخر ناتجة عن الانتشار الحراري. وأبعد عن موقع الاصطدام، توجد منطقة تخثر مع انخفاض الضرر الحراري الشكل(I-11).



الشكل رقم(I-11): المناطق الحرارية بعد تأثير الليزر[14]

يعتمد عمق اختراق الضوء المرئي (الليزر) على طول موجة الليزر، ولون النسيج وقوامه، وقوة الشعاع، ومدة التعرض له، وحجم بقعة الشعاع. أثناء اختراق شعاع الليزر للنسيج، يستمر في تسخين الأنسجة العميقة وتدميرها. في حال وجود مخاوف من إلحاق ضرر عرضي بالأنسجة المجاورة، يمكن استخدام حاجز خلفي. يمكن استخدام مواد مثل الإسفنج المبلل، أو قضبان الكوارتز، أو قضبان التيتانيوم كحواجز خلفية. [14]

يلعب اختيار الطول الموجي دورًا حاسمًا في عمق اختراق الضوء المرئي. وكما هو موضح في الرسم البياني أدناه، فإن الأطوال الموجية القريبة من اللون الأحمر تخترق أعمق طبقة، بينما يبقى الضوء القريب من الأشعة فوق البنفسجية داخل طبقة البشرة. [13]



الشكل رقم(I-12): اعماق اختراق الليزر للأنسجة عند أطوال موجية مختلفة[13]

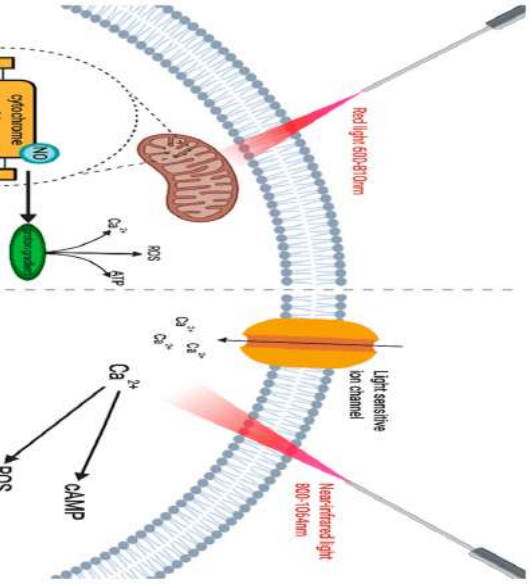
تفضّل الأطوال الموجية الأقصر للتطبيقات التي تقتصر على البشرة، بينما تُعدّ الأطوال الموجية القريبة من الأحمر مثالية للتطبيقات الجلدية. وتتوفر ليزرات Nd:YAG وليزر الديود diode lasers ضمن نطاق الطيف القريب من الأحمر، مما يجعلها أكثر ملاءمة من ليزرات ثاني أكسيد الكربون للتطبيقات التي تستهدف طبقات الجلد العميقة.

I-4-تأثير الضوء على الاستجابات الفيزيولوجية للإنسان

I-4-1-على مستوى الطاقة:

- الضوء يرفع جهد غشاء الميتوكوندريا (mΔμ)، مما يؤدي لزيادة إنتاج الـ ATP بنسبة كبيرة . [16]
- يمتص الضوء بواسطة إنزيم Cytochrome c oxidase (المعقد IV) في الميتوكوندريا، وهو مستقبل الضوء الرئيسي، مما يعزز نقل الإلكترونات : [16]

$$ROS + NO\uparrow + ATP\uparrow \rightarrow \text{Cytochrome c oxidase} + \text{Photon}$$



الشكل رقم(I-13): آلية التحفيز الضوئي في الميتوكوندريا [17] (Complex IV Activation)

يمتص إنزيم سيتوكروم سي أوكسيداز، الموجود في الوحدة الرابعة من سلسلة التنفس في الميتوكوندريا، الضوء الأحمر (600-810 نانومتر). ثم يُزاح أكسيد النيتريك (NO) وينشط الإنزيم، مما يؤدي إلى تدرج بروتوني. ونتيجة لذلك، ترتفع مستويات أيونات الكالسيوم (Ca^{2}) وأنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) وإنتاج الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). من جهة أخرى، يُنشط الضوء القريب من الأشعة تحت الحمراء (810-1064 نانومتر) قنوات أيونية حساسة للضوء، ويزيد من مستويات Ca^{2}. تتفاعل أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) والأدينوسين أحادي الفوسفات الحلقي (cAMP) مع أيونات الكالسيوم. تُسهم هذه الأنشطة مجتمعةً في زيادة تمايز الخلايا وتكاثرها وهجرتها، بالإضافة إلى وظائف أخرى. [17]

I-4-2-التنظيم الجهازي: [04] [06]

- يؤثر الضوء على مستقبلات الشبكية لتنظيم الساعة البيولوجية (تحفيز الميلاتونين) ؛
- تنظيم النوم؛
- إفراز الهرمونات؛
- يحفز إنتاج فيتامين D الضروري للمناعة؛
- تحسين تدفق الدم؛
- تقليل الالتهابات، وزيادة الشفاء.

I-4-3-الاستجابة الوعائية: بشكل طبيعي، يتم تخزين أكسيد النتريك في الجلد والأوعية الدموية على شكل مركبات "مخزنة" مثل النترات والنيتريت. عند تعرض الجلد لطول موجي معين من الضوء المرئي (وخاصة الضوء الأزرق والأحمر)، تحدث عملية تسمى التحلل الضوئي (Photolysis). يؤدي لتوسيع الأوعية وتحسين ميكانيكا تدفق الدم. [06]

- **امتصاص الفوتونات:** تمتص الجزيئات الحاملة لأكسيد النتريك طاقة الضوء؛
- **التحرير الكيميائي:** تؤدي هذه الطاقة إلى تكسير الروابط الكيميائية، مما يطلق غاز أكسيد النتريك الحر في الأنسجة؛

- **الانتشار:** ينتقل الغاز بسرعة إلى خلايا العضلات الملساء المبطنة للأوعية الدموية.

I-4-4-تغيير البنية: بالانتقال من التأثير الوعائي إلى التأثير الخلوي العميق، تصف هذه العملية ما يُعرف بـ التعديل الحيوي الضوئي (Photobiomodulation) عندما نتحدث عن تغيير "البنية" . [18]

أ-التغيير في التركيب الجزيئي للأنسجة: الإشعاع الضوئي (خاصة في النطاق الأحمر والقريب من تحت الأحمر) يعمل كحافز كيميائي حيوي:

- **إعادة تشكيل الكولاجين:** يحفز الضوء الروابط الجزيئية داخل الأنسجة الضامة، مما يحسن من مرونتها وقوتها الميكانيكية؛
- **تعديل السيولة الغشائية:** يؤثر الإشعاع على دهون الغشاء الخلوي، مما يسهل عملية النقل الجزيئي بين داخل وخارج الخلية.

ب-زيادة مكون الميتوكوندريا (الاستجابة الحيوية): تعتبر الميتوكوندريا هي "المستقبل الضوئي" الأساسي في الخلية. التغيير البنيوي هنا يتضمن:

- **التكاثر الميتوكوندري: (Mitochondrial Biogenesis)** لا يكتفي الضوء بتنشيط الميتوكوندريا الموجودة فحسب، بل يحفز الخلية على إنتاج وحدات ميتوكوندريا جديدة لزيادة كفاءة إنتاج الطاقة؛
- **تحفيز إنزيم السيتوكروم سي أكسيداز: (Cytochrome c Oxidase)** هذا الإنزيم هو الجزيء الذي يمتص الضوء مباشرة، مما يؤدي لزيادة إنتاج جزيئات الطاقة .ATP

إن إنزيم سيتوكروم سي أوكسيداز (CCO) هو مستقبل ضوئي رئيسي، يقع في سلسلة التنفس الميتوكوندري في الوحدة الرابعة في الميتوكوندريا، وقد تم إطلاقه بواسطة التعديل الحيوي الضوئي، متبوعًا بتغيير وظيفي في سلسلة التنفس الميتوكوندري الأصلية لتوليد أنواع الأكسجين التفاعلية وزيادة جهد غشاء الميتوكوندريا ($\Delta\Psi m$) الذي يلعب دورًا حاسمًا في إنتاج الأدينوسين ثلاثي الفوسفات من خلال الفسفرة التأكسدية. [17]

I-4-5-إصلاح الأنسجة: يعتبر الضوء المرئي (خاصة الليزر منخفض المستوى أو LED)

محفزاً قوياً لعمليات الإصلاح الطبيعية. [06] حيث يعمل على زيادة تصنيع الكولاجين وتحفيز عوامل النمو وتقليل الالتهابات. [04]

أ-زيادة تصنيع الكولاجين :(Collagen Synthesis)الضوء يحفز خلايا "الفيبروبلاست" (Fibroblasts) وهي المصنع الأساسي للكولاجين في الجسم:

- **البنية:** يؤدي الضوء لزيادة إنتاج بروتينات الكولاجين من النوع الأول والثالث، وهي المسؤولة عن مرونة الجلد وقوة الأوتار والأربطة؛
- **الترميم:** يساعد هذا في إغلاق الجروح وبناء شبكة نسيجية متينة بدلاً من الأنسجة التالفة.

ب-تحفيز عوامل النمو :(Growth Factors)يعمل الضوء على إطلاق إشارات كيميائية تحفز انقسام الخلايا وتجديدها:

- **VEGF:** عامل نمو بطانة الأوعية الدموية، الذي يساعد في بناء شعيرات دمية جديدة (Angiogenesis) لتغذية المنطقة المصابة؛
- **TGF-β:** عامل النمو المحول، الذي يلعب دوراً جوهرياً في سرعة استشفاء الأنسجة وتنظيم نمو الخلايا.

ج-تقليل الالتهابات (Anti-inflammatory Effect)هذه هي الميزة الأكثر أهمية في حالات الإصابة أو العدوى:

- **تعديل السيتوكينات:** يقلل الضوء من مستويات السيتوكينات المحرضة للالتهاب (مثل TNF-alpha) ويزيد من السيتوكينات المضادة للالتهاب؛
- **تقليل الوذمة : (Edema)**يساعد في تصريف السوائل الزائدة وتقليل التورم في الأنسجة المصابة. إليك الصورة التوضيحية التي تشرح كيفية مساهمة الضوء في إصلاح الأنسجة وتصنيع الكولاجين:

الشكل رقم (I-14): مسارات الإشارات الخلوية الداخلية التي يتم تنشيطها بواسطة العلاج الضوئي الحيوي[19]

تظهر الصورة كيف يؤثر الضوء على خلايا الألياف لزيادة إنتاج الكولاجين ومسارات الإشارات الخلوية الداخلية التي يتم تنشيطها بواسطة العلاج الضوئي الحيوي، مما يعزز البنية التحتية للنسيج. تشمل هذه المسارات: MAPK، وPI3K/Akt/mTOR، وJAK/STAT، و BMP/Smad، وTFG-β/Smad. تنشط هذه المسارات استجابةً لمجموعة واسعة من الإشارات الخارجية، وغالبًا ما تنشط بالتوازي. وتتكامل هذه المسارات عبر آليات التغذية الراجعة الإيجابية والسلبية، مُولِّدةً إشارات بيولوجية عديدة تعتمد على المُحفِّز ونوع الخلية المُنشَّطة. [19]

I-5-استخدامات تأثيرات الشعاع المرئي في التشخيص والعلاج

I-5-1-التشخيص:

- استخدام "مطيافية الانعكاس المنتشر" لتحديد تركيز الهيموجلوبين، واستخدام بقع الدم المجففة (DBS) في تتبع تركيز الأدوية؛ [06]
- كما يستخدم التصوير الطبي (الأشعة تحت الحمراء)، للكشف عن نوعية الأنسجة ومواقع الأمراض، وتصوير بقع الدم المجففة؛ [04]
- تشخيص الأنسجة والأورام: تساهم تقنيات التصوير الحيوي بالأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) في الكشف المبكر عن سرطان الجلد وتخطيط الجراحة؛
- استخدام تشتت الضوء (Optical Biopsy) للكشف عن الأورام. [09]

I-5-1-العلاج:

أ-العلاج الضوئي الديناميكي: (PDT) يعد العلاج الضوئي الديناميكي (PDT) تقنية علاجية تعتمد على استخدام ضوء بطول موجي محدد لتفعيل مادة حساسة للضوء داخل الجسم، مما يؤدي إلى إنتاج أكسجين أحادي ($^1O_2$) شديد التفاعل من النوع الثاني. هذا النوع من الأكسجين التفاعلي (ROS) يسبب تلفاً تأكسدياً وموتاً خلوياً للخلايا المستهدفة (مثل الأورام أو البكتيريا) دون إلحاق ضرر كبير بالأنسجة السليمة المحيط. [20]

الشكل رقم(I-15): آلية العلاج الضوئي الديناميكي (PDT) [21]

آلية العمل والإنتاج:

- **تفاعل النوع الثاني: (Type II)** يتم إثارة المادة المحسسة للضوء بواسطة الضوء، ثم تنقل طاقتها مباشرة إلى الأكسجين الثلاثي ($^3O_2$) الموجود في الأنسجة، ليتحول إلى الأكسجين الأحادي السام ($^1O_2$) ؛
- **التأثير الخلوي:** الأكسجين الأحادي($^1O_2$) عامل مؤكسد قوي جداً، يتفاعل مع الدهون والبروتينات الخلوية، مما يسبب الإجهاد التأكسدي وموت الخلايا المبرمج؛
- **الاستخدامات:** يُستخدم في علاج أنواع مختلفة من السرطانات، الأمراض الجلدية، وتعطيل البكتيريا.

يعتبر إنتاج الأكسجين الأحادي هو النوع الرئيسي والمسؤول عن التفاعلات الضوئية الديناميكية الأولية للعديد من المواد المحسسة للضوء.

ب-الليزر منخفض الطاقة: LLLT يعد العلاج بالليزر منخفض المستوى (LLLT)، المعروف بـ "الليزر البارد" أو التعديل الحيوي الضوئي، تقنية غير جراحية تستخدم أطوالاً موجية محددة (أحمر/تحت أحمر) لتحفيز الخلايا، تسكين الآلام، تقليل الالتهابات، وتعزيز ترميم الأنسجة دون إنتاج حرارة. يُستخدم على نطاق واسع في علاج تساقط الشعر، آلام المفاصل، التئام الجروح، وتجديد البشرة. [22]

الشكل رقم (I-16): آليات العلاج بالليزر منخفض المستوى ([23] [LLLT]

الرسم التخطيطي يوضح امتصاص الضوء الأحمر/الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) بواسطة الكروموفورات الميتوكوندرية. يؤدي ذلك إلى زيادة إنتاج الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، وتوليد أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS)، وإطلاق أكسيد النيتريك (NO). تؤثر هذه التغيرات على نسخ الجينات من خلال تعديل عوامل النسخ مثل العامل النووي كابا بي ([23] .[NF-κB)

النتائج: يمكن رؤية النتائج، خاصة في حالات علاج تساقط الشعر، بعد حوالي 6 أشهر من الاستخدام المنتظم.

ج-الجراحة: يعد القطع الحراري الضوئي تقنية دقيقة في جراحات العين، يستخدم الليزر (مثل الإكسيمر أو ثاني أكسيد الكربون) لتسخين وازالة أنسجة العين المستهدفة بدقة متناهية . تُستخدم هذه التقنية لتصحيح عيوب الإبصار (الليزكPRK /)، علاج أمراض الشبكية عبر التخثير الضوئي، وإغلاق قنوات الدموع في حالات الجفاف، مما يقلل الندبات والمضاعفات.

د-علاج الصدفية والأمراض الجلدية: يعد الضوء المرئي (الليزر كمثال)، وخاصة ليزر الإكسيمر (308 نانومتر (، علاجاً فعالاً وآمناً للصدفية الخفيفة إلى المتوسطة والأمراض الجلدية الموضعية، حيث يوجه أشعة فوق بنفسجية عالية الكثافة مباشرة للآفات دون إيذاء الجلد السليم. تتطلب العملية عادةً 4-10 جلسات (جلستان أسبوعياً) لتقليل الالتهاب والقشور .

ه-تنشيط الأدوية (العلاج الكيميائي الضوئي) وتعقيم الأدوات. [06]

و-علاج الاضطرابات النفسية الاكتئاب الموسمي SAD)) : يعد العلاج بالضوء الساطع (Bright Light Therapy) باستخدام صناديق ضوئية تحاكي ضوء الشمس الطبيعي (بقوة 10,000 لوكس) علاجاً أولياً وفعالاً للاكتئاب الموسمي.(SAD) حيث يهدف هذا العلاج، الذي يتم بجلوس المريض أمام الصندوق لمدة 30-60 دقيقة صباحاً، إلى إعادة ضبط الساعة البيولوجية، تحسين المزاج، وزيادة السيروتونين.

الشكل رقم(I-17): العلاج بالضوء الساطع (Bright Light Therapy) باستخدام صناديق ضوئية [24]

خلاصة :

يُشكل هذا الفصل الأساس النظري لفهم طبيعة الإشعاع المستخدم في الدراسة، حيث تم استعراض الضوء المرئي كجزء من الطيف الكهرومغناطيسي، وتحليل سلوكه المزدوج (موجة-جسيم). خلص الفصل إلى أن فعالية الضوء في التطبيقات الحيوية تعتمد بشكل مباشر على طاقة الفوتونات والأطوال الموجية (بين 380-780 نانومتر)، والتي تحدد مدى نفاذية الإشعاع وقدرته على إحداث تغييرات مادية عند اصطدامه بالمادة. كما تم توضيح الآليات الفيزيائية الأساسية مثل الامتصاص، الانكسار، والتشتت، والتي تُعد المفاتيح الرئيسية لفهم كيفية انتقال الطاقة من المصدر الضوئي إلى الوسط البيولوجي الذي سيتم تناوله في الفصل التالي.

مراجع الفصل الأول:

- [01] Al-Zubaidi, S. (2015): Effect of Sunlight on Physical Properties, pp. 1-5.
- [02] Masha, Roland Tasha (2013): Effect of Laser Irradiation on Mitochondrial Chain, pp. 24.
- [03] https://byjus.com/physics/the-electromagnetic-spectrum-visible-light/
- [04] Hamblin, M. R., & Huang, Y. Y. (2013): Handbook of Photomedicine, p.3.

- [05] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (n.d.). Non-ionizing radiation. U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/non-ionizing-radiation
- [06] Antimalarial Drugs Guide: Assessing Exposure, pp. 5, 7, 111.
- [07] https://share.google/CRKRVlB2xm36yaivJ
- [08] https://www.polytechnichub.com/properties-laser-light/
- [09] Tuchin, Valery (2015): Tissue Optics, pp. 55
- [10] Masha, Roland Tasha (2013): Effect of Laser Irradiation on Mitochondrial Chain, pp05.
- [11] The Plastics Fella. (n.d.). Lasers: Physics and Tissue Interactions. Retrieved from2025: https://www.theplasticsfella.com/lasers
- [12] https://www.findlight.net/blog/laser-tissue-interactions/
- [13] FindLight. (2018, August 28). Laser-tissue interactions. FindLight Blog. https://www.findlight.net/blog/laser-tissue-interaction
- [14] Gupta, S. K., Anand, S., & Singh, V. (2018). Spectroscopic and Biochemical Analysis of Human Blood under the Influence of Visible Light Irradiation. Journal of Biomedical Optics & Spectroscopy, 23(4), 046001.
- [15] Tuchin, Valery (2015): Tissue Optics, pp03..
- [16] Masha, Roland Tasha (2013): Effect of Laser Irradiation on Mitochondrial Chain, pp26..
- [17] Salehpour, F., Cassano, P., Rouhi, N., Hamblin, M. R., & Rasta, S. H. (2020). Photobiomodulation—Underlying Mechanism and Clinical Applications. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/341906362_Photobiomodulation-Underlying_Mechanism_and_Clinical_Applications
- [18] Masha, Roland Tasha (2013): Effect of Laser Irradiation on Mitochondrial Chain, pp27..
- [19] Ayuk, S. M., Houreld, N. N., & Abrahamse, H. (2021). Cellular Signalling and Photobiomodulation in Chronic Wound Repair. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/355431179_Cellular_Signalling_and_Photobiomodulation_in_Chronic_Wound_Repair
- [20] Al-Kuraishy, H. M., Al-Gareeb, A. I., Alexiou, A., & Batiha, G. E. (2024). COVID-19 and the risk of developing neurodegenerative diseases: A conceptual review. Journal of Neuroinflammation, 21(1), 263.

https://doi.org/10.1186/s12974-024-03254-w (Original work published in PMC11510636).

- [21] Kou, J., Dou, D., & Yang, L. (2017). Type I and Type II reactions in PDT (photodynamic therapy): Schematic Jablonski's diagram.https://www.researchgate.net/figure/Type-I-and-Type-II-reactions-in-PDT-photodynamic-therapy-Schematic-Jablonskis-diagram_fig1_298214389
- [22] Chen, H., Baeyens, J., & Kang-Kang, L. (2014). Global food security: The role of sustainable agriculture and renewable energy. Applied Energy, 114, 772-778. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.022 (Retrieved from PMC4126803).
- [23] Chen, K., Pittman, R. N., & Popel, A. S. (2019). Mechanisms of nitric oxide-mediated vasodilation [In: Nitric oxide in the microcirculation]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Mechanisms-of-nitric-oxide-mediated-vasodilation-Plasma-Arg-provides-the-substrate-for_fig1_334613519
- [24] Stanford Medicine Children's Health. (n.d.). Types of Eye Surgery for Refractive Errors. Retrieved January 29, 2026, from https://www.stanfordchildrens.org/en/topic/default?id=types-of-eye-surgery-for-refractive-errors-85-P00515
- [25] American Psychiatric Association. (2022, October 3). Bright light therapy: Beyond seasonal depression. APA Blog. https://www.psychiatry.org/news-room/apa-blogs/bright-light-therapy-beyond-seasonal-depression.

عموميات حول السوائل البيولوجية (الدم كنموذج)

تمهيد:

يُعد فهم الخصائص الفيزيائية للسوائل البيولوجية أساسيا في دراسة تفاعلات الإشعاع مع المادة الحية. ويمثل الدم النموذج الأهم والأكثر تعقيداً لهذه السوائل، نظرًا لطبيعته غير المتجانسة وتعدد مكوناته التي تعمل كـ "كروموفورات" (مستقبلات ضوئية) نشطة.

يهدف هذا الفصل إلى تقديم إطار نظري شامل يبدأ بتعريف السوائل البيولوجية وتصنيفها، وصولاً إلى تحليل الخصائص الكهربائية والبصرية للدم. كما سيتم التركيز على استجابة هذه الخصائص للإشعاع المرئي، وتحديد العوامل الفيزيولوجية والمخبرية التي تضمن استقرار العينات ودقة القياس، مما يمهد الطريق لفهم التاثيرات الممكنة التي سيتم تناولها في الفصل الثالث.

II-1-السوائل البيولوجية: التعريف والأنواع

II-1-1-تعريف السوائل البيولوجية:

السوائل البيولوجية (أو سوائل الجسم) هي جميع السوائل داخل الكائن الحي، وتشمل السوائل داخل الخلايا (الخلايا) وخارجها (البلازما، السائل الخلالي). تلعب دوراً حيوياً في النقل، التغذية، حماية الأنسجة، وتنظيم درجة الحرارة، وتشمل الدم، اللعاب، العرق، السائل النخاعي، البول، والسائل المنوي. وهي ضرورية للحفاظ على التوازن الداخلي للجسم. [07] [01]

وعرفت أيضا انها: " أوساط مائية معقدة وغير متجانسة توجد داخل الكائنات الحية، وتعمل كوسط لنقل العناصر الغذائية والغازات والنفايات الأيضية[02] ."

II-1-2-أنواع السوائل البيولوجية:

تتنوع السوائل في جسم الإنسان لتشمل:

أ-السوائل الوعائية: وعلى رأسها الدم واللمف.

يتكون الدم من سائل يسمى البلازما تمثل حوالي 55-60% وخلايا معلقة بها تمثل

حوالي 40-45% : [03]

- **خلايا الدم الحمراء:** تحمل الأكسجين من الرئتين إلى الأنسجة وتخلص الجسم من ثاني أكسيد الكربون، وتحتوي على الهيموغلوبين الذي يعطي الدم لونه الأحمر؛
- **خلايا الدم البيضاء:** تشكل جزءاً من الجهاز المناعي وتكافح العدوى والالتهابات؛
- **الصفائح الدموية:** تساعد في تجلط الدم ووقف النزيف عند الإصابة؛
- **البلازما:** سائل أصفر اللون يتكون بشكل رئيسي من الماء والبروتينات والأملاح، وتعمل على نقل الخلايا والمواد المغذية، ويمثل الوسط الذي ينتشر فيه الضوء.

الشكل رقم(1-II): مكونات الدم [04]

ب-السوائل الخلالية:

يُعرف السائل الخلالي بأنه الوسط المائي الذي يحيط بالخلايا داخل الأنسجة، وهو جزء من السوائل البيولوجية التي تعمل كوسط لنقل المواد والغازات. وفي فيزياء الأنسجة، يُعتبر

هو "الوسط الأرضي" (Ground substance) الذي تسبح فيه المكونات الخلوية. [02] [05]

ينشأ السائل الخلالي من بلازما الدم؛ حيث يتم ترشيحه عبر جدران الشعيرات الدموية المسامية بفعل الضغط الهيدروستاتيكي. [06]

يشبه في تركيبه البلازما لكنه يحتوي على تركيز أقل من البروتينات الكبيرة (لأن جدران الأوعية تمنع مرور البروتينات الضخمة). يتكون بشكل أساسي من: [07]

- الماء والأملاح المعدنية؛
- الأكسجين والمواد المغذية (الجلوكوز) المتجهة للخلايا؛
- الفضلات الأيضية وثاني أكسيد الكربون الخارجة من الخلايا.

حيث تعمل السوائل البيولوجية (الدم واللمف والسائل الخلالي) في دورة متكاملة:

1. يخرج السائل من الدم)بلازما) إلى الفراغات الخلالية؛
2. تأخذ الخلايا حاجتها منه وتطرح فضلاتها فيه؛
3. يتم تصريف الزائد من السائل الخلالي عبر الجهاز اللمفاوي ليعود مرة أخرى إلى الدورة الدموية.

وفي دراسات تفاعل الضوء المرئي المعالج مع المادة الحية، يلعب السائل الخلالي دوراً حاسماً حيث:

- **معامل الانكسار:** يختلف معامل انكسار السائل الخلالي عن معامل انكسار الأغشية الخلوية، وهذا التباين هو المسؤول عن تشتت الضوء داخل الأنسجة ويحدد كيفية نفاذ الاشعاع المرئي عبر العينة؛ [05]
- **الناقلية:** يعمل كوسط موصل للأيونات، مما يؤثر على القياسات الكهربائية (مثل التوصيلية وثابت العزل) في حالة الدم؛ [08]
- **التوازن التناضحي:** يحافظ على الضغط التناضحي حول كريات الدم والأنسجة، وأي خلل فيه يؤدي إلى ظاهرة "الوذمة" (Edema) أو انكماش الخلايا.

ج-السوائل المتخصصة:

هي سوائل محتجزة داخل تجاويف جسمية خاصة، وتعمل كأوساط ناقلة أو واقية أو مشحمة للأعضاء. وتتميز بخصائص بصرية (معامل انكسار) تختلف عن الدم، مما يجعل تفاعلها مع الضوء المرئي المعالج مختلفاً.

من أهم أنواع السوائل المتخصصة نذكر:

- **السوائل العينية (Ocular Fluids):** تشمل الخلط المائي (Aqueous Humor) والخلط الزجاجي (Vitreous Humor). تتميز بشفافيتها العالية التي تسمح بنفاذ الضوء دون تشتت كبير مقارنة بالدم؛ [09]
- **السائل الدماغي النخاعي (Cerebrospinal Fluid - CSF):** يحيط بالدماغ والحبل الشوكي ويعمل كممتص للصدمات ووسط لنقل المغذيات و يُصنف كأحد السوائل الحيوية التي تتأثر بالبيئة الإشعاعية المحيطة بالجسم؛ [02]
- **السوائل الزليلية (Synovial Fluids):** توجد في مفاصل الجسم لتسهيل الحركة وتقليل الاحتكاك؛ [05]
- **السائل اللمفاوي (Lymph):** سائل صافٍ ينتج من ترشيح السائل الخلالي ويعود للدورة الدموية ويتميز بحساسيته العالية للإشعاع، وهو المسؤول عن تطهير الأنسجة من الفضلات. [02]

ومن الخصائص الفيزيائية لهذه السوائل:

1. **الشفافية البصرية:** معظم هذه السوائل (كالخلط المائي واللمف) أقل تشتيتاً للضوء من الدم لأنها لا تحتوي على الهيموجلوبين، مما يجعل "ثابت الامتصاص" لها منخفضاً جداً في النطاق المرئي[10].
2. **معامل الانكسار:** يقترب معامل انكسار هذه السوائل من معامل انكسار الماء (حوالي 1.33 إلى 1.34)، بينما الدم يرتفع معامل انكساره بسبب وجود الخلايا؛ [11]
3. **اللزوجة:** السائل الزليلي مثلاً يتميز بلزوجة عالية جداً لحماية المفاصل. [12]

II-2-الدم كنموذج للسوائل البيولوجية

II-2-1-تعريف الدم:

الدم هو "نسيج ضام سائل" يتكون من خلايا معلقة في وسط مائي يسمى البلازما، وهو وسيط حيوي للتفاعلات الكهرومغناطيسية عند تعرضه للإشعاع. [05] [13]

وعرف صياح قطان الدم انه: "نسيج ضام يشتمل في تركيبه على ثلاثة عناصر خلوية تدعى الكريات الحمراء والبيضاء والصفيحات الدموية التي تتخذ لها مكانا في وسط سائل محدد التركيب متميز الخصائص يسمى البلازما الى أن يكتمل عمرها أو تتخرب قبل ذلك نتيجة لنشاطاتها الوظيفية أو بسبب حدثيات مرضية مختلفة لتحل محلها خلايا جديدة فتية وفي الحالات الطبيعية تتعادل بشكل يدعو الى الدهشة نسبة الخلايا المتكونة مع المتخربة بحيث يبقى عدد الخلايا ثابتا .[14]"

الشكل رقم(II-2): الدم (خلايا دم الحمراء والبيضاء) [15]

الدم سائلٌ متخصص في الجسم، ويتكون من أربعة مكونات رئيسية: البلازما، وخلايا الدم الحمراء، وخلايا الدم البيضاء، والصفائح الدموية. يُعرف الدم الذي يجري في الأوردة والشرايين والشعيرات الدموية بالدم الكامل، وهو مزيج من حوالي 55% بلازما و45% خلايا دم. يشكل الدم ما بين 7% و8% من وزن الجسم الإجمالي. يحتوي جسم الرجل متوسط الحجم على حوالي 12 مكيالاً (Pints) من الدم، بينما يحتوي جسم المرأة متوسطة الحجم

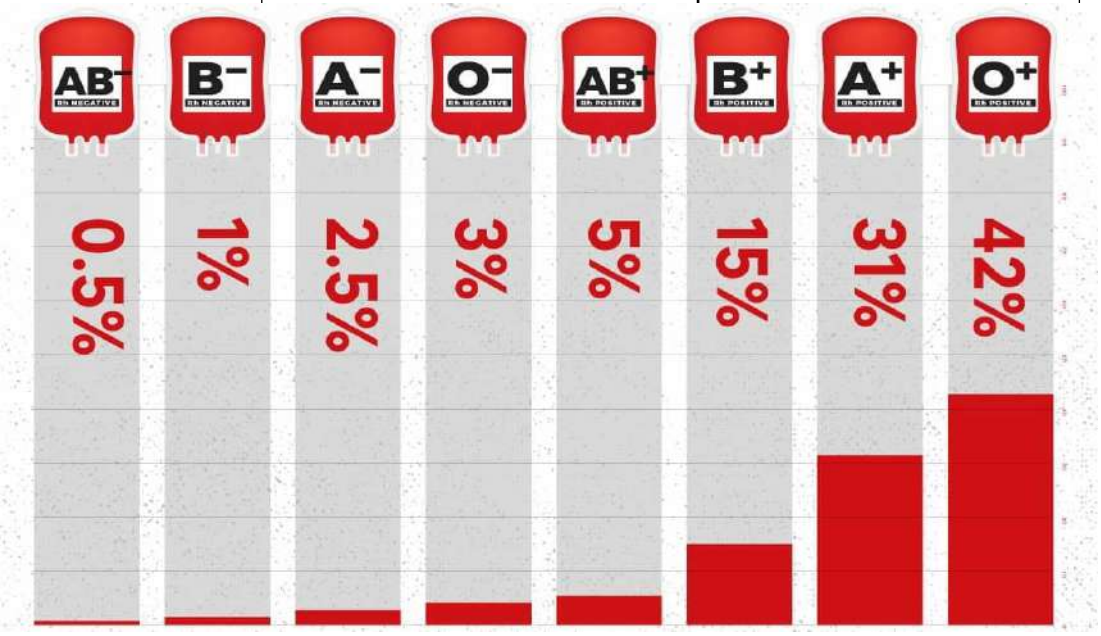
على حوالي 9 مكيالاً Pints)·)

II-2-2-فصائل الدم:

ينقسم الدم الى اربعة فصائل هي ((O,AB,B,A . عند نقل الدم من شخص الى الشخص المريض المحتاج الى الدم يجب ان تكون فصيلة الدم المنقولة متطابقة مع فصيلة المريض لانها اذا لم تتطابق سوف يحدث تجلط في كريات الدم الحمراء مما يؤدي الى تكسيرها وترسيبها في الكلى مما يسبب الوفاة وفي الجدول ادناه يوضح امكانية تطابق فصائل معينة من الدم مع الفصائل الاخرى: [16]

الجدول رقم(II-1): فصائل الدم[16]

فصيلة الدم	فصائل الدم التي تتطابق معها
A+	A , +A , -O, +O-
B+	B , +B , -O, +O-
AB+	يقبل جميع الفصائل
+O	O , +O-
-A	A, -O-
-B	B , -O-
-AB	A , -B, -AB , -O-
O-	O-



الشكل رقم(II-3): فصائل الدم ونسب توزيعها بين سكان العالم [17]

II-2-3-الوظائف العامة للدم:[18]

يؤدي الدم وظائف حيوية أساسية لاستمرار الحياة، ويمكن تقسيم وظائفه العامة إلى ثلاثة مجالات رئيسية: النقل، التنظيم، والحماية كما يلي:

أ-وظائف النقل : (Transport)

- **نقل الأكسجين والمغذيات:** يحمل الأكسجين من الرئتين، والمغذيات (مثل الجلوكوز والأحماض الأمينية) من الجهاز الهضمي إلى جميع خلايا وأنسجة الجسم؛
- **نقل الفضلات:** ينقل الفضلات الناتجة عن عملية التمثيل الغذائي (مثل ثاني أكسيد الكربون، واليوريا) من الخلايا إلى أعضاء الإخراج (الكليتين، الرئتين، والكبد) للتخلص منها؛
- **نقل الهرمونات:** ينقل الهرمونات من الغدد الصماء إلى الأعضاء المستهدفة.

ب-وظائف التنظيم : (Regulation)

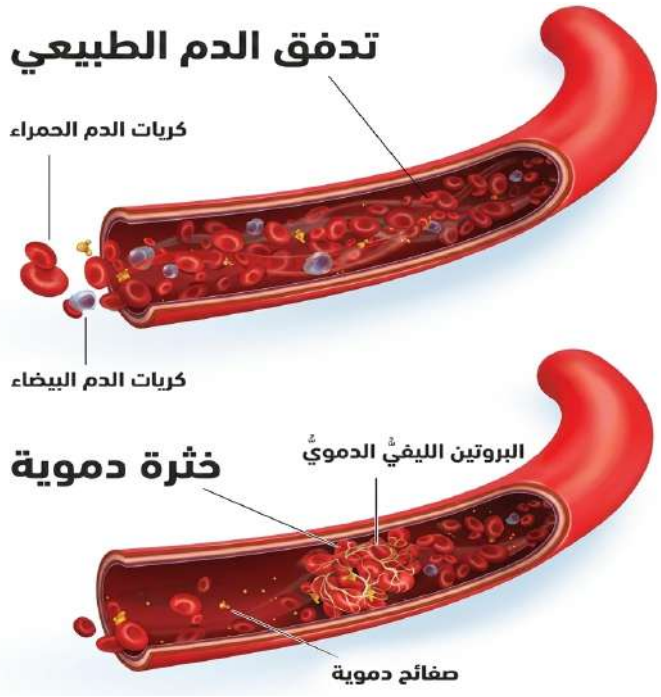
- **تنظيم درجة حرارة الجسم:** يوزع الدم الحرارة الناتجة عن العضلات النشطة، ويساعد في تبديد الحرارة الزائدة عبر الجلد؛
- **ضبط التوازن الحمضي القاعدي : (pH)** يحتوي على مواد منظمة (Buffers) تحافظ على الرقم الهيدروجيني للدم والسوائل الجسمية ضمن الحدود الطبيعية؛
- **حفظ التوازن المائي وضغط الدم:** تساعد بلازما الدم، وخاصة بروتين الألبيومين، في الحفاظ على الحجم الطبيعي للدم وضغط الدم التناضحي.

ج-وظائف الحماية : (Protection)

- **الدفاع المناعي:** الدفاع عن الجسم ضد الأمراض (وظيفة الكريات البيضاء عن طريق البلعمة أو تشكيل الأضداد أو المناعة الخلوية) فخلايا الدم البيضاء تحتوي على أجسام

مضادة تحارب الجراثيم، الفيروسات، والميكروبات، وتوفر المناعة للجسم؛

- **تخثر الدم (التجلط):** تلعب الصفائح الدموية وعوامل التخثر دوراً حيوياً في تكوين جلطات دموية لوقف النزيف عند حدوث إصابات.



الشكل رقم(II-4): الفرق بين التدفق الطبيعي ووجود الخثرة الدموية[19]

ويعتبر الدم خزانا للماء والشوارد الضرورية لعمل خلايا الجسم كافة والجدول التالي يلخص الوظائف الرئيسية للدم:

الجدول رقم(II-2): وظائف الدم الفيزيولوجية[18]

النقل (Transportation)	التنظيم (Regulation)	الحماية (Protection)
-التنفس: (نقل الغازات كالأكسجين وثاني أكسيد الكربون). **-ناقل للمغذيات:** من الجهاز الهضمي (GIT) إلى أنسجة	-تنظيم درجة الحموضة (pH): الحفاظ على التوازن الحمضي القلوي. -ضبط وتعديل درجة حرارة الجسم.	**-حماية الجسم من الأمراض:** عبر خلايا الدم البيضاء (WBC) من خلال عملية "البلعمة" (Phagocytosis). **-خزان للمواد:** مثل الماء

الجسم. **-نقل الهرمونات:** من الغدد الصماء إلى الأعضاء المستهدفة. **-نقل الفضلات الأيضية:** (التخلص من نواتج عمليات التمثيل الغذائي).	-الحفاظ على المحتوى المائي للخلايا: (التوازن المائي).	والإلكتروليتات (الأملاح المعدنية) وغيرها. **-إيقاف النزيف** (Haemostasis): منع فقدان الدم وحماية الأوعية الدموية.

II-3-المكونات الأساسية للدم (الخلوية والسائلة)

تتفاعل مكونات الدم مع الضوء بشكل متباين بناءً على تركيبها:

II-3-1-المكونات الخلوية:

أ-كريات الدم الحمراء : (RBCs)

خلايا شديدة التخصص فاقدة النواة مقعرة الوجهين مملؤة بالهيموكلوبين يبلغ قطرها حوالي 8 مايكرون واعظم سمك لها هو 3 مايكرون ويحتوي الدم على اعداد هائلة من كريات الدم الحمراء ويختلف عددها في الذكر عما هو في الانثى في حين يبلغ في الذكر حوالي (5-5.5) مليون كرية لكل واحد سنتيمتر مكعب وفي الانثى (4.5-5) مليون كرية لكل واحد سنتيمتر مكعب، ويصل عمر الكرية الحمراء الواحد (120) يوما وينتهي بها الحال بعد انقضاء عمرها الى الطحال. [20]

خلايا الدم الحمراء هي عبارة عن خلايا تشكل ما نسبته 40 - 45% من سائل الدم، وتكون على شكل صفائح دائرية مقعرة الوجهين تتميز بمرونتها وقدرتها على تغيير شكلها، مما يسمح لها بالتنقل بحرية والمرور بسهولة في الأوعية الدموية.

تصنع خلايا الدم الحمراء في نخاع العظم، وتحتاج ما يقارب 7 أيام حتى تصبح خلايا ناضجة وتنطلق من نخاع العظم إلى مجرى الدم.

وتمنح خلايا الدم الحمراء الدم لونه المميز وهي المسؤولة عن نقل الأكسجين إلى الخلايا

وتخليصها من ثاني أكسيد الكربون.

تشغل الجزء الأكبر، وهي المسؤولة عن امتصاص الضوء وتشتته بسبب شكلها القرصي واحتوائها على الهيموجلوبين، وهو الكروموفور الرئيسي المسؤول عن امتصاص الضوء في النطاق المرئي. [21]

ب-كريات الدم البيضاء : (WBCs)

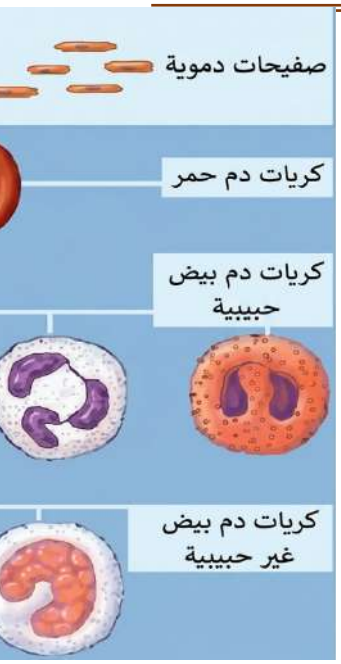
وهي خلايا حقيقية النواة عديمة اللون وذلك لعدم احتوائها على خضاب الدم (الهيموجلوبين) ذات شكل اميبي وتختلف عن كريات الدم الحمراء بالعدد والتركيب والوظيفة حيث يتراوح عددها (6000-10000) كرية دم بيضاء لكل ملمتر مكعب واحد من الدم أي نسبة كرية دم بيضاء واحدة لكل (700) كرية دم حمراء وتعتبر كريات الدم البيضاء معبراً تسلكه لتصل الى الامكنة التي تمارس فيها نشاطها في "النسيج الضام" وتعتبر كريات الدم البيضاء خط الدفاع الاول الذي يعتمد عليه الجسم ضد غزو الكائنات الحية الدقيقة، ولكريات الدم البيضاء ايقاع يومي اذ تزداد في اخر النهار وهي تتغير من ساعة الى ساعة كأستجابة للعديد من المثيرات. [22]

خلايا الدم البيضاء يتم تصنيعها في نخاع العظم، وتتواجد عادة في الدم وفي الأنسجة الليمفاوية، وهي جزء من جهاز المناعة لتساعد على مكافحة الأمراض المختلفة.

وتشكل خلايا الدم البيضاء ما نسبته 1% فقط تقريباً من الدم، وتأتي بعدة أنواع مختلفة، وهي كالآتي:

- **الخلية المحببة (Granulocytes):** يندرج تحت هذا النوع 3 أنواع من خلايا الدم البيضاء، وهي الخلايا القاعدية والخلايا الحمضية والعدلات (Neutrophils) ؛
- **اللمفاويات (Lymphocytes):** يندرج تحت هذا النوع 3 أنواع من خلايا الدم البيضاء، وهي الخلايا التائية والخلايا البائية والخلايا القاتلة الطبيعية؛
- **الخلايا الوحيدة أو الوحيدات (Monocytes):** تشكل هذا الخلايا ما نسبته 2 - 8% من نسبة خلايا الدم البيضاء في الجسم.

تكون أكثر مقاومة لبعض أنواع الإشعاع المرئي مقارنة بالحمراء التي قد تتحلل بسرعة. [23]



الشكل رقم(II-5): مورفولوجيا (شكل) خلايا الدم[24]

ج-الصفائح الدموية:

الصفائح الدموية هي ليست خلايا فعلية، بل مجرد قطع وأجزاء صغيرة من خلايا، هي احدى العناصر غير السائلة العالقة في بلازما الدم وهي عبارة عن "حطامات سايتوبلازمية" ليس لها جدران خلوي خالية من النواة يبلغ قطر الصحيفة الواحد ة 2-4 "مايكرون", والمصدر الاساسي لتولد هذه الصحيفات الدموية هي خلايا اولية كبيرة تسمى ميكاكاربوست توجد عادة في نخاع العظم ويقدرعددها بحوالي(500-250) الف صحيفة دموية في المليلتر المكعب الواحد ويزداد عددها بعد الممارسة الرياضية او الفعاليات العضلية وبعد حصول النزف والاصابات المرضية والعمليت الجراحية واهم وظيفة للصفيحات الدموية هي عملية تخثر الدم وانكماش الخثرة الدموية. [22]

تلعب دوراً في تشتت الضوء الجانبي في أجهزة التدفق الخلوي. [10]

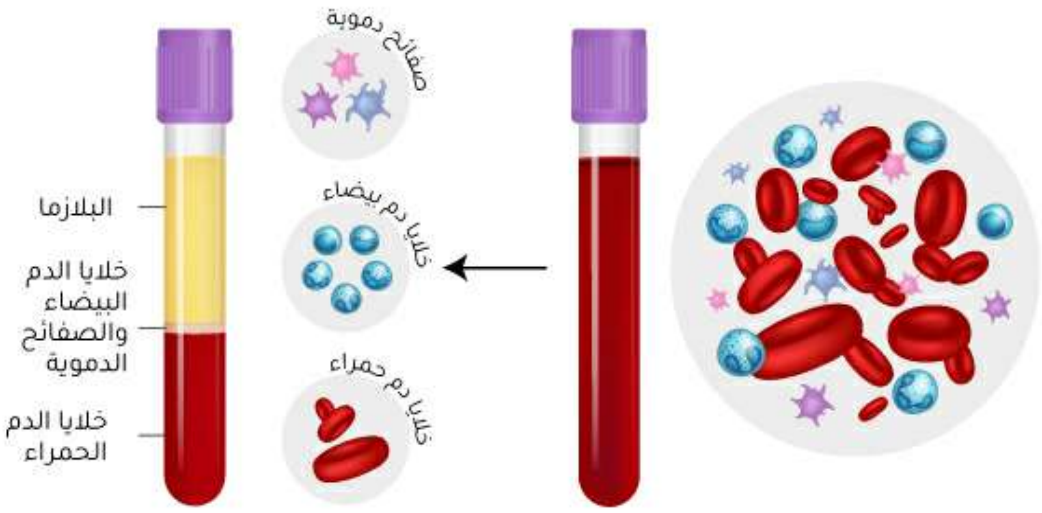
II-3-2-المكونات السائلة (البلازما:(

البلازما هي المكون الرئيسي للدم البشري الذي يمنح الدم مظهره السائل فهي الجزء السائل من الخلايا التي تكون الدم، وتتكون من الماء ومجموعة من المواد المختلفة الأخرى.

وتشكل بلازما الدم ما نسبته 55% من الدم، وتتكون بلازما الدم من الآتي:

- الماء بنسبة 92%؛
- البروتينات الهامة بنسبة 7%؛
- المعادن والأملاح والسكريات والهرمونات والفيتامينات التي تشكل ما نسبته 1%.

تؤثر نسبة الجلوكوز والبروتينات في البلازما على معامل انكسار الدم الكلي، حيث يبلغ معامل انكسار البلازما حوالي1.34 . [11]



الشكل رقم(II-6): صورة مكونات الدم بعد فصله بتقنية الطرد المركزي[36]

II-4-الوظائف الحيوية والفسيولوجية لمكونات الدم

تشمل وظائف مكونات الدم ما يأتي: [25]

II-4-1-وظيفة بلازما الدم:

هذه هي الوظائف الرئيسية لبلازما الدم:

- إبقاء مستويات ضغط الدم تحت السيطرة؛
- منح الدم حجمه الطبيعي؛
- الحفاظ على التوازن الحمضي القاعدي (PH Balance) في مختلف أنحاء الجسم والذي يضمن قيام الخلايا بوظائفها دون خلل؛
- توفير البروتينات الضرورية لتخثر الدم والمناعة؛

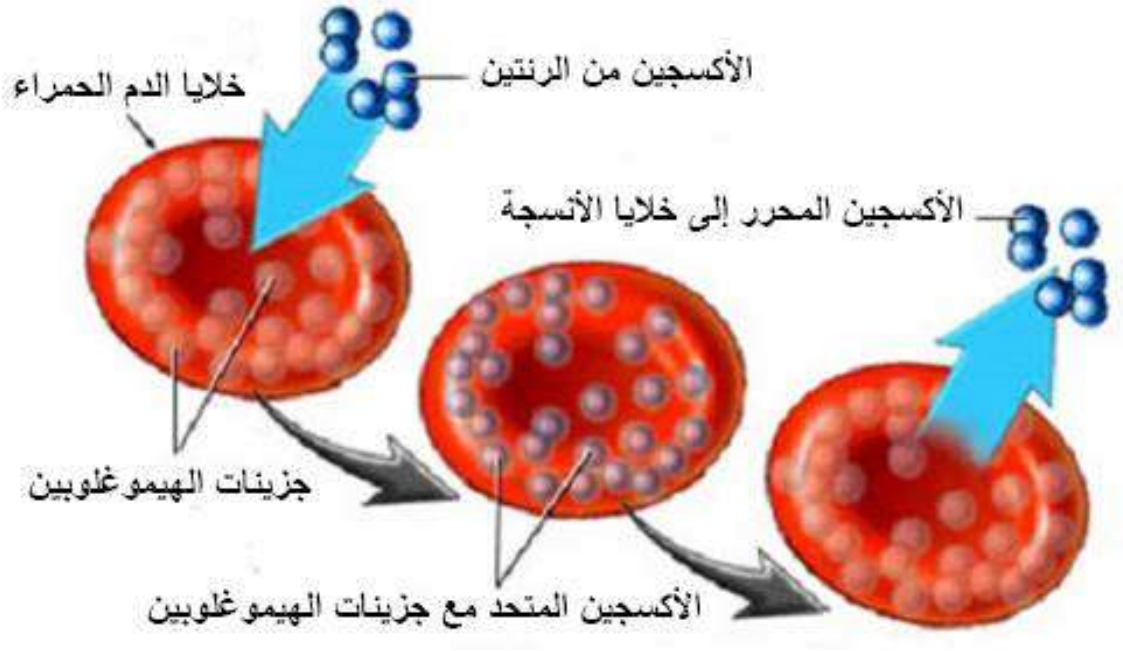
- نقل المعادن والمواد الهامة إلى العضلات، مثل: البوتاسيوم والصوديوم.

II-4-2-وظيفة خلايا الدم الحمراء:

تحتوي خلايا الدم الحمراء على نوع خاص من البروتينات اسمه الهيموغلوبين، وهو الذي يمنح الدم لونه الأحمر المميز.

ويعمل هذا البروتين على حمل الأكسجين ونقله من الرئتين إلى باقي مناطق الجسم، ويعود منها محملاً بثاني أكسيد الكربون الذي يتخلص الجسم منه بعد ذلك عبر الرئتين في عملية الزفير.

وعادة ما يتم عمل فحص تعداد الدم الكامل لقياس نسبة الهيموغلوبين في الدم، وهو فحص يساعد على تشخيص العديد من الأمراض، مثل: الأنيميا، والجفاف، وسوء التغذية، واللوكيميا.



الشكل رقم(II-7): وظيفة خلايا الدم الحمراء [26]

II-4-3-وظيفة خلايا الدم البيضاء:

تعمل خلايا الدم البيضاء على حماية الجسم من الأمراض عبر الآتي:

- صناعة أجسام مضادة تقاوم الأمراض والعدوى؛
- مهاجمة الأورام والخلايا التي أصيبت بفيروسات أو أمراض؛
- مهاجمة الفيروسات والبكتيريا وأي مهددات خارجية أخرى بشكل مباشر.

II-4-4-وظيفة الصفائح الدموية:

تعمل مكونات الدم هذه التي تسمى بالصفائح الدموية على تخثر الدم وتجلطه، وعملية التخثر هنا هي عملية هامة جداً تمنع نزف الشخص حتى الموت بعد تعرضه لجرح أو إصابة ما.

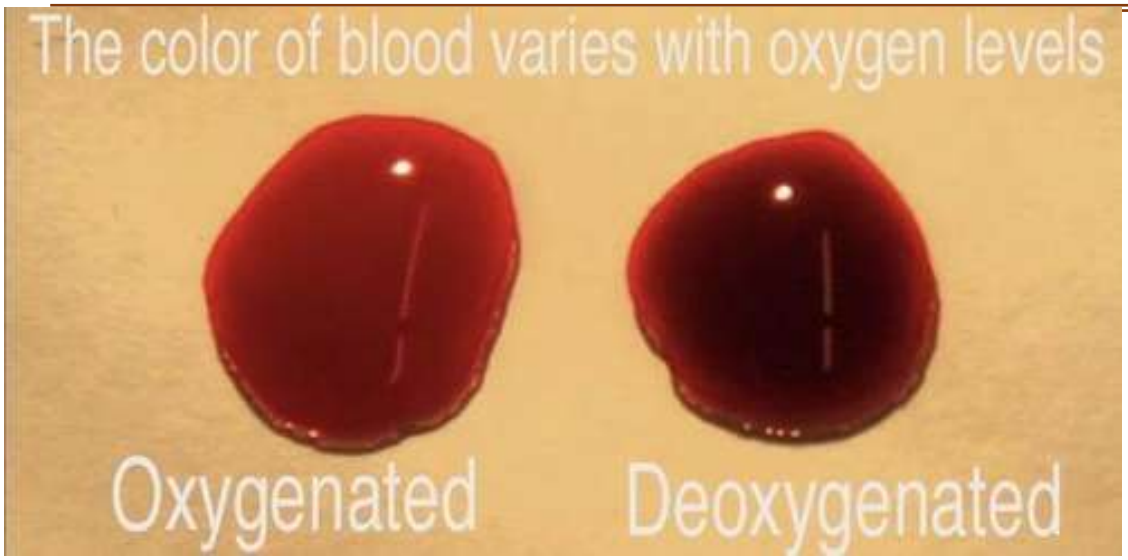
إذ تتجمع هذه الصفائح في موضع الجرح لتلتصق بالجدار الداخلي من الأوعية الدموية المتضررة وتعمل على إغلاقها تدريجياً مانعة بذلك استمرار النزيف.

وتشكل هذه الخثرات الدموية قشرة صلبة تظهر على السطح الخارجي من الجرح لتحمي المنطقة أسفلها من أي التهابات ولتساعد على تسريع عملية التعافي وتكوين أنسجة جديدة أسفل القشرة المتكونة.

II-5-الخصائص الفيزيائية العامة (الميكانيكية والريولوجية) للدم [27]

II-5-1-اللزوجة : (Viscosity) وهي عبارة عن قوة أحتكاك الدم بجدران الشرايين وأعلى بحوالي 4-5 أضعاف من لزوجة الماء، مما يجعله أكثر مقاومة للتدفق، وتعتمد بشكل رئيسي على عدد خلايا الدم الحمراء. والدم سائل "غير نيوتوني"، تتأثر لزوجته بدرجة الحرارة وتركيز البروتينات وقوى التجاذب بين الكريات. تتمثل أهميتها في الحفاظ على الضغط الدموي ويؤدي تعريض الدم للإشعاع بالضوء المرئي المعالج إلى تحسين سيولته وتقليل لزوجته بشكل ملحوظ.

II-5-2-اللون : (Color) لون الدم أحمر وذلك لوجود الهيموجلوبين الذي يضفي على الدم هذا اللون، ويختلف اللون الأحمر في الشرايين عنه في الأوردة فهو أحمر فاقع في الشرايين بسبب وجود الاكسجين وأحمر قاتم في الاوردة بسبب وجود ثاني أكسيد الكربون.



الشكل رقم(II-8): الفرق بين دم الشرايين ودم الاوردة [28]

II-5-3-درجة الحموضة : (pH) الدم سائل قاعدي ضعيف، ويتراوح الـ pH الطبيعي بين 7.35 و 7.45، مما يجعله قلوياً قليلاً. يحافظ الجسم على هذا النطاق الضيق جداً لضمان عمل الوظائف الحيوية، ويتم تنظيمه بواسطة الرئتين (إزالة ثاني أكسيد الكربون) والكلى (إفراز الأحماض). يعد انخفاض الـ pH عن 7.35 حماضاً، وارتفاعه عن 7.45 قلاءً، وكلاهما يمثل خطراً صحياً.

II-5-4-درجة الحرارة : (Temperature) وهي ثابتة في الجسم مع وجود بعض الفروقات فيه من عضو لآخر حسب حاجة هذا العضو للحرارة من أجل القيام بوظيفته الرئيسية. فمثلاً درجة حرارة الكبد تساوي(40-41°C)، اما الدماغ فدرجة حرارته تساوي أقل من 36°C درجة مئوية. والمعدل العام لدرجة حرارة الجسم يتراوح بين 36.8-37.8 °C.

II-5-5-الحجم : (Volume)يشكل حوالي 7-8% من وزن الجسم، بمتوسط 5-6 لتر للرجال و4-5 لتر للنساء.

II-5-6-الكثافة : (Density) وهي تعتمد على وجود المواد المنحلة في البلازما مثل كريات الدم الحمراء والبروتين و قيمتها للرجال تتراوح بين (1.057-1.067) غم/سم^3، و للنساء تتراوح بين (1.0-1.061) غم/سم^3 بسبب العناصر الخلوية والمعادن المذابة.

II-5-7-التوتر السطحي: يعتمد على قوى التماسك الجزيئي عند سطح السائل الحيوي؛ ويؤدي الامتصاص الطاقي للفوتونات إلى تغيير هذه القوى، مما يسهل عملية تبادل الغازات

عبر أغشية كريات الدم الحمراء. [29]

عندما تمتص الكريات الحمراء طاقة الضوء المرئي (خاصة الأخضر 532 nm أو الأحمر)، تحدث التفاعلات التالية:

- **تغيير سيولة الغشاء:** طاقة الفوتونات تضعف قوى التماسك الجزيئي عند سطح الغشاء الخلوي، مما يزيد من "مرونة" الغشاء؛
- **نفاذية الغشاء:** هذه المرونة والتقليل في التوتر السطحي يجعلان الغشاء أكثر نفاذية للغازات، مما يسهل خروج ثاني أكسيد الكربون ودخول الأكسجين وارتباطه بالهيموجلوبين؛ [30]
- **منع التكدس:** تقليل التوتر السطحي يساعد في فك تجمعات الكريات (التي تشبه صُفف العملات)، مما يزيد من مساحة السطح المعرضة لتبادل الغازات. [12]

II-6-الخصائص البصرية والفيزيائية للدم (تفاعل الضوء مع الدم)

تحدد الخصائص الفيزيائية والبصرية سلوك الضوء والطاقة داخل الوسط الدموي، وهي كالتالي:

II-6-1-معامل الانكسار (Refractive Index)

يعد الدم وسطاً غير متجانس بصرياً، حيث تختلف قيم معامل الانكسار باختلاف مكوناته؛ فالكريات الحمراء لها معامل انكسار يتراوح بين 1.39 و1.41. [11]

II-6-2-التشتت : (Scattering)

الدم وسط عالي التشتت جداً، ويوصف بمعامل التشتت (μ_s) وعامل عدم المتناحية ($g \approx 0.99$)، مما، مما يعني أن معظم الضوء يشتت في اتجاه أمامي وهذا يسمح بنفاذ الضوء عبر الأوعية الدموية العميقة. [05]

II-6-3-الاستجابة الكهربائية: (Electrical Response)

عند تشعيع الدم بالليزر (690(μW، تنخفض التوصيلية الكهربائية للعينة بشكل واضح، ويقل ثابت العزل الكهربائي نتيجة لتأثر استقطاب أغشية الخلايا بفعل الطاقة الإشعاعية. [08]

II-7-ثابت الامتصاص للدم عند أطوال موجية مختلفة

يعتمد ثابت امتصاص الدم بشكل أساسي على مستوى أكسجة الهيموجلوبين والطول الموجي للضوء. يمتص الهيموجلوبين غير المؤكسج (□□□□□□) الضوء بشكل أكبر عند الأطوال الموجية الأقل من 600 نانومتر، بينما يمتص الهيموجلوبين المؤكسج (□□□□□□$_2$) بشكل مختلف، وتوجد نقطة تساوي طيفي عند 805 نانومتر حيث يتساوى امتصاصهما. يُستخدم هذا الاختلاف لتحديد نسبة الأكسجين بصرياً، عادةً عند 660 نانومتر (لـ □□□□□ □) و880 نانومتر (لـ□□□□□□$_2$ □ .(

أبرز أطوال الموجات وامتصاص الدم: يعتمد امتصاص الدم للضوء على طول الموجة وحالة الهيموجلوبين:

II-7-1-عند 532 نانومتر (الضوء المرئي الأزرق/ الأخضر): يمتلك الهيموجلوبين قمة امتصاص عالية جداً، مما يجعل هذا الطول الموجي مثالياً للتأثير على معايير الدم مثل معدل ترسب الكريات الحمراء (ESR - Erythrocyte Sedimentation Rate) ومتوسط حجم الكرية (MCV - Mean Corpuscular Volume[). [30]

II-7-2-عند 632.8 نانومتر (ليزر He-Ne الأحمر:(يكون الامتصاص أقل مقارنة بالأخضر، لكنه فعال في التعديل الحيوي وتغيير الهشاشة التناضحية للكريات . [08]

II-7-3-عند805 نانومتر: نقطة التساوي الطيفي (Isosbestic point) حيث يكون الامتصاص مستقلاً عن مستوى الأكسجة.

II-7-4-عند880 نانومتر (تحت الأحمر): يستخدم لقياس الهيموجلوبين المؤكسج.

II-7-5-نطاق الأشعة فوق البنفسجية : (UV)يمتص الدم والجلد هذه الأشعة بقوة، وتتأثر نفاذيتها بالظروف المحيطة مثل الرطوبة. [11]

تعتمد هذه القياسات على **قانون بير-لامبرت**) (=□□ □□□□□□، حيث يحدد معامل الامتصاص المولي (□□) قوة الامتصاص عند كل طول موجي.

II-8-تأثير الاشعاع المرئي على الخصائص الفيزيولوجية (للسوائل والانسجة)

II-8-1-التغييرات البصرية والكهربائية: يغير الضوء خصائص الامتصاص، الانتقال، والتوصيل الكهربائي للسوائل وزيادة النشاط الكيميائي الحيوي وحركة الأيونات ترفع من الناقلية الكهربائية للسائل الحيوي. [29] [31]

II-8-2-الديناميكا الحرارية والكيميائية: رفع الحرارة يحفز التئام الجروح، وإنتاج الأكسجين التفاعلي يقتل الخلايا الضارة وغير المرغوب فيها. [31] [32]

II-8-3-التفاعل مع السوائل: يسبب تحفيز أو تثبيط العمليات الحيوية، مثل تنظيم ضغط الأوعية الدموية وهجرة العناصر (المعادن) من الطور العضوي للمائي. [12] [32]

II-8-4-الاستقرار واللزوجة: يؤثر الضوء على لزوجة السوائل واستقرار العينات الفيزيولوجية ونتائج التحليل. [12] [31]

II-8-5-هجرة العناصر: (Ion Migration) الفوتونات الممتصة تكسر الروابط الضعيفة، مما يؤدي لهجرة أيونات المعادن (مثل Fe^{2+}) من الهيموجلوبين إلى البلازما. [12]

II-8-6-الديناميكا الريولوجية للسوائل:

- تغيير اللزوجة والـ pH للسوائل الحيوية نتيجة التفاعلات الكيميائية الضوئية؛ [12]
- تحسين التوصيل الكهربائي وتحفيز التفاعلات الأيضية وهجرة العناصر المعدنية (كالحديد) من الطور العضوي للمائي. [12] [29]

II-8-7-التوصيل الكهربائي: زيادة النشاط الكيميائي الحيوي وحركة الأيونات ترفع من الناقلية الكهربائية للسائل الحيوي. [29]

II-9-العوامل المؤثرة على استقرار العينات الفيزيولوجية

يتأثر استقرار العينات الفيزيولوجية (مثل الدم، البلازما، الأنسجة) بعدة عوامل حاسمة تضمن دقة النتائج المعملية، وأهمها درجة حرارة التخزين، تأخير المعالجة، تكرار دورات التجميد والذوبان، ونوع الأنابيب المستخدمة. وتؤدي هذه العوامل إلى تحلل البروتينات، تغير مستويات السيتوكينات، وانحلال الدم، مما يغير التركيب الكيميائي الحيوي للعينة.

II-9-1-انحلال الدم : (Haemolysis)يؤدي تحلل الكريات إلى تغير كلي في طيف الامتصاص، وتزداد نسبة التحلل مع زيادة زمن الحفظ بعد التشعيع. [08] [33]

II-9-2-الرطوبة المحيطة: تؤثر الرطوبة العالية (أكثر من 50%) على نفاذية الضوء عبر العينات، مما قد يغير من جرعة الإشعاع الواصلة للمادة الحيوية. [11]

II-9-3-درجة الحرارة وظروف التخزين: يجب الحفاظ على ثبات الحرارة لتجنب التغيرات الكيميائية الحيوية التي قد تسبق عملية القياس. [34]

II-9-4-تأثير الادوية: وجود مركبات كيميائية (مثل أدوية الملاريا) في الدم يغير من استجابة العينة للامتصاص الطاقي. [06]

خلاصة:

استكمالاً لما تم تناوله في الفصل الأول حول طبيعة الضوء المرئي المعالج، يستعرض هذا الفصل الدم كوسط فيزيائي وحيوي معقد، حيث يُعرف بأنه معلق غروي غير متجانس يتكون من خلايا (حمراء، بيضاء، صفائح) مغمورة في البلازما، وهو المسؤول عن العمليات الحيوية ونقل الطاقة داخل الجسم. [12]

من الناحية الفيزيائية، يتميز الدم بخصائص ريولوجية مثل اللزوجة والتوتر السطحي، والتي تتأثر بشكل مباشر بامتصاص الطاقة الإشعاعية؛ حيث يؤدي التعرض لليزر إلى تحسين سيولة الدم وتقليل لزوجته. [12] بصرياً، يعتبر الهيموجلوبين الكروموفور الرئيسي الممتص للضوء، بقمة امتصاص حادة عند الطول الموجي 532 نانومتر، بينما يلعب حجم وشكل الخلايا الدور الأساسي في تشتت الضوء داخل الوسط. [05] [13]

أثبتت الدراسة أيضاً تأثر الخصائص الكهربائية للدم بالإشعاع، حيث لوحظ انخفاض في التوصيلية الكهربائية وثابت العزل للأغشية الخلوية بعد التشعيع. [08]

وفي الختام، شدد الفصل على أن استقرار هذه النتائج يتوقف على ضبط عوامل مخبرية حاسمة مثل الرطوبة المحيطة ومنع انحلال الدم لضمان دقة القياسات الفيزيولوجية. [11] [33]

مراجع الفصل الثاني:

- [01] Munn, H. L., & Tyagi, S. C. (2024). Circadian mechanisms in brain fluid biology. Circulation Research, 134(6), 711–726. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.123.323516
- [02] نور، رحيم شريف؛ وسويد، شريف عبد الله. (2017). دراسة تأثير الإشعاعات النووية على جسم الإنسان وأهم الخدمات الأساسية للوقاية منها [بحث تخرج غير منشور]. جامعة القادسية، كلية التربية، العراق.

- [03] Serrano, C. (2023, October 23). The blood: Histology, components and functions. Kenhub. https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-blood
- [04] https://share.google/PDADd2WUvL375qNOE
- [05] Tuchin, V. (2015). Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnostics (3rd ed.). SPIE Press p312.
- [06] World Health Organization. (2011). Methods and techniques for assessing exposure to antimalarial drugs in clinical field studies. WHO Library.42.
- [07] Lumen Learning. (n.d.). Body fluids and fluid compartments. Anatomy and Physiology II (SUNY). https://courses.lumenlearning.com/suny-ap2/chapter/body-fluids-and-fluid-compartments-no-content/
- [08] الخالد، عصام زهير؛ كوسا، محمد؛ والصالحي، محمد. (2013). تأثير مجال كهربائي بترددات مختلفة في كريات الدم الحمراء بعد تعريضها لأشعة ليزر الهليوم-نيون. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد (29)، العدد الأول.
- [09] Samoilova, K. A., Zhevago, N. A., Petrishchev, N. N., & Zimin, A. A. (2008). Role of nitric oxide in the visible light-induced rapid increase of human skin microcirculation. Photomedicine and Laser Surgery, 26(5).
- [10] Tuchin, V. (2015). Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnostics (3rd ed.). SPIE Press p316.
- [11] Farley, C., Kassu, A., Sadate, S., & Sharma, A. (2016). Effect of ambient humidity on the transmission of UV/Visible light through model human epidermis. Open Journal of Applied Sciences, 6, 153-157.
- [12] Al-Zubaidi, A. (2018). Effect of Laser Irradiation on Human Blood Rheology and Viscosity. Journal of Biomedical Physics & Engineering, 5.
- [13] Mohd Fuad, S. S., Suardi, N., & Mustafa, I. S. (2018). In vitro UV-Visible spectroscopy study of yellow laser irradiation on human blood. Journal of Physics: Conf. Series, 995.
- [14] صياح قطان واخرون: علم وظائف الاعضاء ،ج1، جامعة دمشق، منشورات جامعة دمشق، 2011، ص285.
- [15] https://share.google/PHbiMgmmyxf5OLCdP

- [16] محمد حسين عبيد: الدم ومكوناته، رسالة دكتوراه، جامعة بابل-كلية التربية الرياضية، 2018، ص08.
- [17] https://share.google/NKZr4s2NVQCckQDsB
- [18] يوسف توفيق حشاش : وظائف الاعضاء البشرية ، ط1، عمان، الاردن، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع،2008، ص67.
- [19] https://share.google/YEOqsj8BRnsU0QHSJ
- [20] محمد سمير سعد الدين:علم وظائف الاعضاء والجهد البدني، ط3، الاسكندرية، منشأة المعارف،2000، ص125.
- [21] Shubbar, A. H., & Al-Kaisy, A. Z. (2022). The effects of soft laser on some blood parameters of patients with breast cancer. The Egyptian Journal of Hospital Medicine (EJHM), 89(2), 75.
- [22] محمد سمير سعد الدين:علم وظائف الاعضاء والجهد البدني، ط3، الاسكندرية، منشأة المعارف،2000، ص126.
- [23] Earle, W. R. (1928). Studies upon the effect of light on blood and tissue cells. The Journal of Experimental Medicine.
- [24] https://share.google/YbFZXhcYqqIFeLLc9
- [25] رهام دعباس، مقال بعنوان "مكونات الدم ووظائفها"، موقع ويب طب، 26 نيسان 2020، متاح على الرابط: https://www.webteb.com/articles/%D9%85%D9%83%D9%88%D9%86%D8%A7%D8%AA-D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%85_22366%))، تاريخ الدخول: [18-04-2026 ساعة 21:33].
- [26] https://share.google/fy3hTP3nwnqPXbbbS
- [27] ريسان خريبط مجيد: التحليل البيوميكانيكي والفسلجي في التدريب الرياضي، جامعة البصرة ، مطبعة دار الحكمة،2011، ص83.
- [28] https://share.google/ke6JQv5B7Veql9Blv
- [29] Masha, R. T. (2011). Effect of laser irradiation on enzyme activity and expression of mitochondrial respiratory chain complexes [Doctoral dissertation]. University of Johannesburg.
- [30] Shubbar, A. H., & Al-Kaisy, A. Z. (2022). The effects of soft laser on some blood parameters of patients with breast cancer. The Egyptian Journal of Hospital Medicine (EJHM), 89(2), 75-79.

- [31] American Society of Hematology. (n.d.). Blood basics. https://www.hematology.org/education/patients/blood-basics
- [32] Boundless. (2023, August 20). Physical characteristics and volume. LibreTexts Medicine. https://med.libretexts.org/Bookshelves/Anatomy_and_Physiology/Anatomy_and_Physiology_(Boundless)/16%3A_Cardiovascular_System_-_Blood/16.1%3A_Overview_of_Blood/16.1B%3A_Physical_Characteristics_and_Volume
- [33] World Health Organization. (2011). Methods and techniques for assessing exposure to antimalarial drugs in clinical field studies. WHO Library.43.
- [34] World Health Organization. (2011). Methods and techniques for assessing exposure to antimalarial drugs in clinical field studies. WHO Library.51.

الجانب التطبيقي

تأثير الشعاع المرئي على

تمهيد:

في هذا الفصل، تم إنجاز دراسة تجريبية تهدف إلى تقييم تأثير الشعاع المرئي على عينة الدم، من خلال تطبيق بروتوكول مخبري يعتمد على مقارنة عينات غير معرضة بعينات تم تعريضها لفترات زمنية مختلفة (10 و 20 دقيقة)، مع الحفاظ على نفس الشروط التجريبية.

اعتمدت التجربة على استخدام تقنيات تحليل مكملة، حيث تم تسجيل منحنيات طيفية بواسطة جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء قبل وبعد التعريض، إضافة إلى إجراء تحليل تعداد الدم الكامل وبعض التحاليل البيوكيميائية، وذلك للكشف عن التغيرات التي قد تطرأ على مكونات الدم على المستويين الجزيئي والخلوي.

وتكمن أهمية هذا العمل في دراسة طبيعة هذه التغيرات، ومحاولة تحديد مدى تأثر الخصائص البيولوجية والبيوكيميائية للدم بالشعاع المرئي، وكذلك فهم العلاقة بين مدة التعرض وشدة التأثير المسجل، من خلال المقارنة بين النتائج المتحصل عليها لمختلف العينات.

III-1-الأهداف :

- دراسة استجابة عينات الدم البشري للإشعاع المرئي؛
- تحديد التغيرات في المعايير الدموية (FNS) بعد التعريض؛
- تحليل التغيرات الكيميائية الحيوية (LDH, Albumin...) ؛
- استخدام تقنية FTIR للكشف عن التغيرات الجزيئية في بنية الخلايا.

III-2-مبدأ العمل :

يعتمد هذا العمل على تعريض عينات دم بشري للشعاع المرئي لمدة زمنية محددة (10 و 20 دقيقة)، ثم دراسة التغيرات الحاصلة على مستوى الخلايا الدموية والخصائص البيوكيميائية باستخدام تحليل تعداد الدم الكامل والتحاليل البيوكيميائية وكذا تحليل الأشعة تحت الحمراء .FTIR

III-3-أدوات العمل :

- عينات دم مأخوذة من احدى الطالبتين(مروة علالي) ؛
- أنابيب اختبار تحتوي على مانع التخثر (EDTA)؛
- مصدر إشعاع مرئي(مصباح خاص بالمعالجة الضوئية (؛
- جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء(FTIR - Cary 630) ؛
- كاشف الأشعة فوق البنفسجية (UV Spectrophotometer) ؛
- إبر طبية معقمة؛
- وسيلة توقيت (كرونومتر) ؛
- قفازات طبية/ مئزر طبي/ كمامات.

الشكل رقم(1-III): المخبر وأدوات العمل

III-4-طريقة العمل (البروتوكول التجريبي) :

III-4-1-جمع العينات: تم سحب كميات من الدم الوريدي من الطالبة مروة علالي ووضعها في أنابيب EDTA لمنع التجلط في ظروف معقمة.

III-4-2-تقسيم العينات: تم تقسيم الدم إلى ثلاث مجموعات:

- **المجموعة الأولى:** 03 عينة شاهدة (Control) لم تتعرض للإشعاع؛
- **المجموعة الثانية:** تعرضت للإشعاع المرئي لمدة 10 دقائق؛

- **المجموعة الثالثة:** تعرضت للإشعاع المرئي لمدة 20 دقيقة.

الشكل رقم(2-III): تقسيم عينات الدم

III-4-3-عملية التشعيع: تم تعريض العينات للشعاع المرئي باستخدام مصدر ضوء، مع تثبيت جميع الشروط التجريبية (المسافة، درجة الحرارة، شدة الضوء،) مع تغيير مدة التعريض فقط.

III-4-4-التحليل الطيفي :FTIR

تعد تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريير (FTIR) أداة قوية لدراسة التغيرات الجزيئية في العينات البيولوجية، حيث توفر معلومات دقيقة عن الروابط الكيميائية والمجموعات الوظيفية الموجودة في البروتينات، الدهون، والأحماض النووية داخل خلايا الدم.

أ-تعريف جهاز :FTIR

- هو اختصار لـ **Fourier Transform Infrared Spectroscopy**، أو "مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريير" ؛

- هو تقنية تحليلية متطورة تُستخدم لتحديد المركبات العضوية وغير العضوية؛
- يقوم الجهاز بتمرير حزمة من الأشعة تحت الحمراء عبر العينة، حيث تمتص الجزيئات داخل العينة طاقة هذه الأشعة عند ترددات معينة، مما يؤدي إلى اهتزاز الروابط الكيميائية. [01]

الشكل رقم(3-III): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR - Cary 630)

ب-لماذا يسمى "تحويل فوريير" (Fourier Transform)؟

- قديماً، كانت الأجهزة تقيس كل طول موجي على حدة، وهو أمر بطيء؛
- أما تقنية "فوريير" فهي تعتمد على خوارزمية رياضية تسمح للجهاز بقياس كل الأطوال الموجية في وقت واحد وبدقة عالية جداً؛
- تقوم هذه التقنية بتحويل البيانات المعقدة إلى "منحنى طيفي" (Spectrum) سهل القراءة يوضح شدة الامتصاص مقابل العدد الموجي.

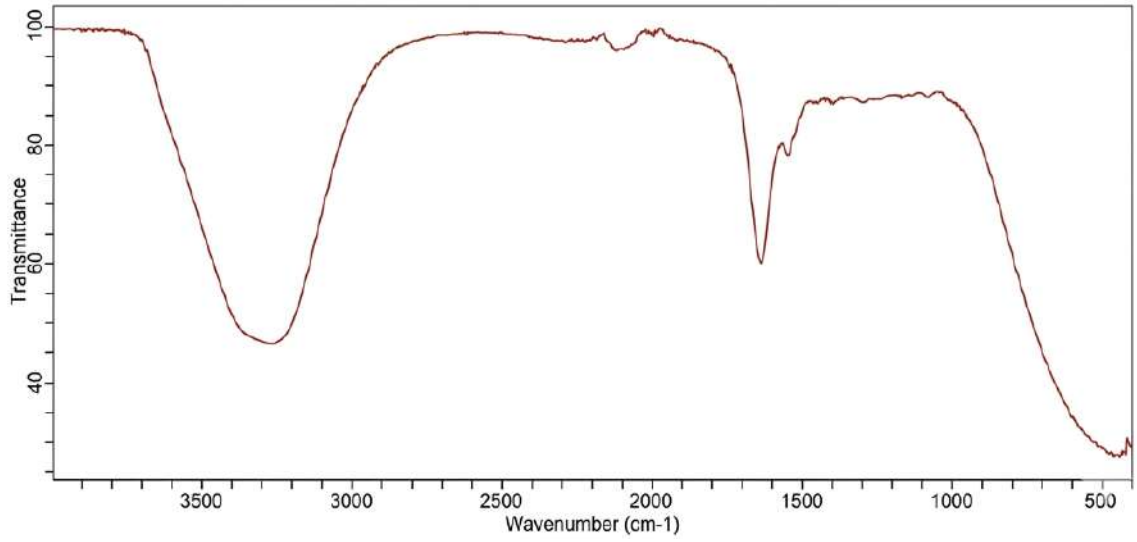
ج-مكونات الجهاز الأساسية :

- **مصدر الأشعة:** يطلق طيفاً واسعاً من الأشعة تحت الحمراء؛

- **مقياس التداخل (Interferometer) :** وهو قلب الجهاز الذي يستخدم مرآة ثابتة وأخرى متحركة لتعديل الأشعة؛
- **العينة:** قطرة الدم المعالجة ضوئياً؛
- **الكاشف : (Detector)** يقيس كمية الأشعة التي عبرت من خلال العينة ولم تُمص. [01]

د-إجراءات القياس :

- تم أخذ جزء من كل عينة بعد التعريض، وتحليله بجهاز الأشعة تحت الحمراء، وتسجيل المنحنيات الطيفية؛
- من خلال فحص منحنيات النفاذية (Transmittance) مقابل العدد الموجي (cm^{-1}) نلاحظ وجود حزم امتصاص رئيسية تمثل البصمة الجزيئية لمكونات الدم؛
- طرأت على هذه الحزم تغيرات طفيفة ولكنها جوهرية عند زيادة مدة التعرض للإشعاع المرئي. [02]



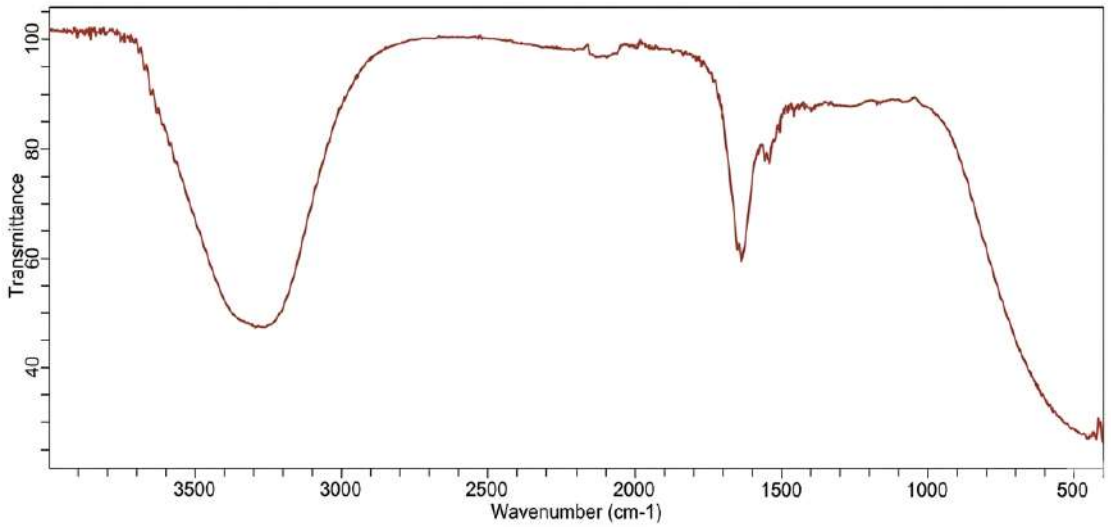
الشكل رقم(4-III): طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لعينة الدم "الشاهد" (بدون تعرض للإشعاع)

تعليق على المنحنى:

- هذا المنحنى يمثل الحالة الطبيعية للدم قبل أي تدخل إشعاعي؛
- **ثبات القمم:** نلاحظ وجود القمم التقليدية للدم، حيث تظهر قمة Amide I عند 1642

cm^{-1} بشكل متناظر، مما يدل على أن الهياكل الثانوية للبروتينات (α-helix)في حالتها الطبيعية؛ [03]

- **منطقة البصمة (600 – 1500 cm^{-1}):** القمم في هذه المنطقة واضحة ومتميزة (غير متداخلة بشكل عشوائي)، مما يشير إلى استقرار الروابط التساهمية في السكريات والدهون المكونة لأغشية الخلايا.



الشكل رقم(III-5): طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لعينة الدم بعد تعرضها للإشعاع المرئي لمدة 10دقائق

تعليق على المنحنى:

عند فحص طيف الأشعة تحت الحمراء لهذه العينة ومقارنته بالعينة الشاهد، نلاحظ أن البنية الجزيئية للدم بدأت في الاستجابة للطاقة الضوئية الممتصة، وتجلى ذلك في المؤشرات التالية: [04]

منطقة روابط الأميد : (Amide Bands)

- **ثبات الموضع مع تغير الشدة:** نلاحظ أن قمة Amide I (عند $1645cm^{-1}$) و Amide II (عند $1540cm^{-1}$) حافظتا على مواقعهما الترددية بشكل كبير، لكن لوحظ انخفاض طفيف في النفاذية (Transmittance)، أي زيادة في الامتصاص؛
- **التفسير:** هذا يشير إلى أن مدة 10دقائق لم تكن كافية لكسر الروابط البيتيدية أو

إحداث تغيير هيكلي جذري (Denaturation)، ولكنها أحدثت استثارة جزيئية (Molecular Excitation)؛ حيث زادت سعة اهتزاز روابط C=O وN-H نتيجة امتصاص فوتونات الضوء. [05]

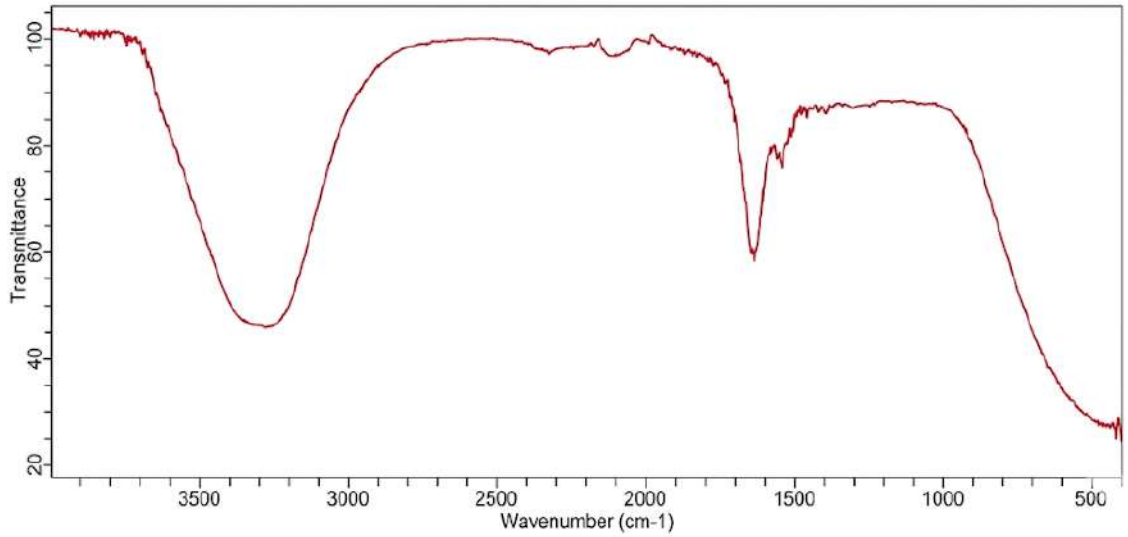
منطقة البصمة الجزيئية 900-1500(Fingerprint Region) cm^{-1} :

هذه هي المنطقة التي ترصد التأثيرات المبكرة على الأغشية الخلوية:

- **نطاق روابط الانحناء(1350-1450 cm^{-1}):** نلاحظ بداية ظهور قمم أكثر حدة لروابط الانحناء الخاصة بمجموعات الميثيل (CH-2, CH-3)؛
- **التفسير:** هذا يعكس تأثراً مبكراً في الديوناميكية الدهنية (Lipid Dynamics) لغشاء الكرية الحمراء والصفائح؛ حيث بدأت السلاسل الهيدروكربونية في غشاء الخلية تكتسب طاقة حركية أعلى؛
- **نطاق الفوسفات والسكريات (1000-1200cm^{-1}):** في هذه العينة (10دقائق)، تظهر القمم بشكل منظم وواضح (مشابهة للشاهد)، مما يدل على أن السكريات السطحية (Glycoproteins) المسؤولة عن شحنة الخلية لا تزال تحافظ على استقرارها الكيميائي في هذه المرحلة.

منطقة روابط الهيدروكسيل (3300 cm-1):

- **الملاحظة:** اتساع بسيط جداً في قاعدة القمة العريضة المرتبطة بالماء والبروتينات؛
- **التفسير:** يشير إلى بداية إعادة ترتيب طفيفة في الروابط الهيدروجينية المحيطة بالجزيئات الحيوية، وهو ما نعتبره "مرحلة التمهيد" قبل حدوث التغيرات الكبيرة.



الشكل رقم(III-6): طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR)لعينة الدم بعد تعرضها للإشعاع المرئي لمدة 20دقيقة

عند فحص طيف الأشعة تحت الحمراء لهذه العينة، نلاحظ حدوث تغيرات جوهرية تدل على أن التأثير الضوئي انتقل من مرحلة "الاستثارة" إلى مرحلة "التعديل الكيميائي الهيكلي" (Structural Modification)، وذلك وفق التحليل التالي:

منطقة الأميدات (التحول البروتيني) :

- **الانزياح (Shift):** نلاحظ انزياحاً واضحاً في قمة(Amide I) نحو قيم عدد موجي(Wavenumber) مختلفة مقارنة بالشاهد وعينة الـ 10دقائق؛
- **التفسير:** هذا الانزياح دليل فيزيائي قطعي على تغير في الطاقة الرابطة (Bond Energy) لروابط الكربونيل (C=O). يشير هذا إلى بداية حدوث تغير في البنية الثانوية لبروتينات الدم (تخرب جزئي أو إعادة تشكل)، حيث لم تعد السلاسل الببتيدية في وضعها الفراغي الأصلي. [03]

التحليل العميق لمنطقة البصمة (Fingerprint Region 600-1500 cm^{-1}):

هذه المنطقة شهدت التغيرات الأكثر "دراماتيكية" في هذه العينة:

أولا: نطاق السكريات والفوسفات(1100- 1000 cm^{-1}):

- **الملاحظة:** تداخل القمم وفقدان حدتها(Broadening and Flattening).القمم التي كانت واضحة في الشاهد أصبحت هنا "ممسوحة" أو مدمجة؛
- **التفسير:** هذا يعكس حدوث اضطراب شديد (Disorder) في المجموعات الوظيفية الكربوهيدراتية والدهون الفوسفاتية (Phospholipids[12]). بما أن هذه الجزيئات هي المكون الأساسي لغشاء الخلية، فإن هذا التغير يثبت فيزيائياً أن غشاء الكرية الحمراء والصفائح تعرض لخلل هيكلي، مما أفقد الخلية استقرارها الكيميائي السطحي.

ثانيا: نطاق روابط الانحناء(1450- 1300 cm^{-1}):

- **الملاحظة:** تغير كبير في شدة الامتصاص لروابط الميثيل والميثيلين (CH-2, CH-3)؛
- **التفسير:** يشير إلى زيادة الفوضى الجزيئية داخل الطبقة الدهنية المزدوجة للغشاء، وهو ما نسميه في الفيزياء الحيوية بزيادة سيولة الغشاء (Membrane Fluidity) بشكل غير طبيعي نتيجة الإجهاد الإشعاعي التراكمي. [13]

منطقة روابط الهيدروكسيل (3300 cm^{-1}):

- **الملاحظة:** القمة أصبحت أكثر حدة وضيقاً في القاع مقارنة بالشاهد؛
- **التفسير:** يعكس هذا تغيراً في حالة "التميه" (Hydration) حول الجزيئات الحيوية؛ حيث أدى الإشعاع المستمر لمدة 20دقيقة إلى تحطيم بعض الروابط الهيدروجينية الضعيفة التي تربط جزيئات الماء بالبروتينات. [14]

الخلاصة الفيزيائية لعينة 10دقائق:

يمكن وصف حالة العينة بأنها في "مرحلة الاستثارة المستقرة"؛ حيث امتصت المكونات الحيوية (خاصة البروتينات والدهون الغشائية) طاقة إشعاعية كافية لزيادة نشاطها الاهتزازي، ولكن دون الوصول إلى حد "التشويه الهيكلي" الذي لاحظناه لاحقاً عند 20دقيقة.

الخلاصة الفيزيائية لعينة 20دقيقة:

تُظهر النتائج الطيفية أن العينة وصلت إلى مرحلة "الإجهاد الجزيئي الحرجي". التغيرات لم تعد تقتصر على اهتزاز الروابط فقط، بل امتدت لتشمل تغيير الأماكن الفراغية للذرات (الانزياحات) وتشويه منطقة البصمة الجزيئية.

مقارنة التغيرات الهيكلية والجزيئية بين عينات الدم (شاهد، 10د، 20د) :

الجدول رقم(III-1): التغيرات الهيكلية والجزيئية بين عينات الدم (شاهد، 10د، 20د)

وجه المقارنة	العينة الشاهد (0 د)	العينة رقم 1 (10 د)	العينة رقم 1 (20 د)	التفسير العلمي والفيزيائي
منطقة الأميدات)البروتينات (	قمم مستقرة ومتناظرة عند $1642cm^{-1}$	زيادة في شدة الامتصاص مع ثبات الموضع	انزياح (Shift) في القمة وتغير في عرضها	امتصاص فوتونات الضوء أدى لاستثارة روابط C=O ثم تخريب جزئي للطي البروتيني (Denaturation) عند زيادة المدة.
منطقة البصمة)الغشاء الخلوي(	قمم واضحة ومنظمة للسكريات والفوسفات	بداية زيادة اهتزاز روابط الانحناء CH-2	تداخل وفقدان وضوح القمم (Broadening)	الإشعاع التراكمي حطم النظام الجزيئي للدهون والسكريات الغشائية، مما أدى لزيادة "عشوائية" الاهتزاز وفقدان استقرار الغشاء
الروابط الهيدروجينية 3300 cm^{-1}	قمة عريضة طبيعية (تميه مستقر(	اتساع طفيف في قاعدة القمة	قمة أكثر حدة وضيقاً في القاع	الإشعاع المستمر تسبب في تكسير الروابط الهيدروجينية الضعيفة التي تربط جزيئات الماء بالبروتينات
الحالة الجزيئية العامة	حالة توازن فيزيائي وكيميائي	مرحلة الاستثارة: طاقة كامنة عالية دون تغير هيكلي	مرحلة التعديل: تغير في الهوية الكيميائية والروابط	الفوتونات الضوئية تعمل كمحفز (Catalyst)؛ في البداية تزيد الطاقة الحركية، وبعد مدة (20د) تؤدي لتفاعلات كيميائية ضوئية تغير بنية المادة
الاستقرار الغشائي	عالي(	متوسط (بداية	منخفض جدا(إضطراب	اضطراب منطقة البصمة في FTIRيثبت أن غشاء الخلية

الروابط المنظمة)	سيولة الغشاء)	حزئي)	أصبح نفاذا وغير مستقر،مما يمهد لتسريب المحتويات الداخلية

III-5-التحاليل المخبرية

تم في مصحة عادة إجراء التحاليل المخبرية التالية:

- تحليل تعداد الدم الكامل FNS؛
- تحليل LDH؛
- قياس سرعة ترسيب الكريات الحمراء VS)).

النتائج المخبرية:

الجدول رقم(2-III): النتائج المخبرية FNS

المعامل	Témoin الشاهد	بعد مدة 10 دقائق	بعد مدة 20 دقيقة	Unité الوحدة
WBC	5.64	5.60	5.66	µL/10³
Lym	1.93	2.06	2.07	µL/10³
Mid %	0.36	0.48	0.49	µL/10³
Gran	3.35	3.06	3.10	µL/10³
Lym %	34.2	36.7	36.6	%
Mid %	A6.4	A 8.6	8.6	%
Gran %	A59.4	54.7	54.8	%
RBC	4.27	4.27	4.26	µL/10□
HGB	11.7	11.5	11.4	g/dL
HCT	34.0	33.9	33.9	%
MCV	79.6	79.3	79.5	fL
MCH	27.4	26.9	27.0	pg
MCHC	34.4	34.0	34.1	g/dL
RDW-CV	13.4	13.5	13.5	%
RDW-CV	265	271	253	µL/10³
PLT	10.8	11.8	11.4	fL
MPV	17.1	16.9	16.5	fL
PDW	0.287	0.320	0.298	%
PCT	84	106	96	µL/10³

P-LCC	31.8	39.2	36.4	%

الجدول رقم(III-3): النتائج المخبرية Vitesse LDH

Paramétre	Témoin	Échantillon 1 (10 min)	Échantillon 2 (20 min)	Unité	Valeur de référence
LDH	360	400	404	UI/L	320-120
Vitesse de sédimentation 1H	20	90	100	mm	H < (Age/2)

III-6-عرض و تحليل و تفسير النتائج

III-6-1-نتائج تعداد الدم FNS

أظهرت النتائج ما يلي:

أ-كريات الدم الحمراء (RBC, HGB, MCV)

- استقرار نسبي في عدد كريات الدم الحمراء؛
- انخفاض طفيف في بعض مؤشرات الكريات الحمراء وتركيز الهيموغلوبين في الدم (MCV،HGB)
- بقيت قيم RBC شبه ثابتة (4.26 → 4.27 → 4.27)؛
- لم تلاحظ تغيرات معتبرة في MCV يدل ذلك على أن كريات الدم الحمراء لم تتأثر بشكل كبير بالشعاع المرئي، وهو ما يشير إلى استقرار نسبي في بنيتها ووظيفتها. [06]

ب-كريات الدم البيضاء (WBC)

- لم تسجل تغيرات واضحة (5.66 → 5.60 → 5.64)؛
- يشير هذا إلى أن الشعاع المرئي لم يؤثر بشكل ملحوظ على الاستجابة المناعية في هذه الظروف التجريبية.

ج-الصفائح الدموية (PLT, MPV, P-LCR)

- **PLT:** تغيرت (265 → 271→ 253)؛

- **MPV**: ارتفع(10.8 → 11.8 → 11.4) ؛
- **P-LCR:** ارتفع (31.8 → 39.2 → 36.4).

هذه التغيرات تدل على أن الصفائح الدموية هي الأكثر حساسية للشعاع المرئي، [07]حيث لوحظ: زيادة في حجمها وارتفاع في نسبة الصفائح الكبيرة مما يعكس تغيرا في نشاطها الفيزيولوجي.

III-6-2-النتائج البيوكيميائية LDH

ارتفاع قيمة LDH من 316 الى 400 ثم 404 حيث يمثل LDH انزيما يرتبط بالنشاط الخلوي،[08] وارتفاعه يدل على: حدوث تغيرات داخل الخلايا أو زيادة في النشاط الأيضي. [09]

III-6-3-تحليل سرعة الترسيب (VS):

ارتفاع سرعة الترسيب من 20إلى 90ثم 100 حيث الارتفاع الكبير في سرعة الترسيب يدل على: تغير في خصائص البلازما[10] أو في البروتينات الدموية وقد يكون ذلك مرتبطا بتأثير الشعاع على مكونات مثل الهيموغلوبين أو البروتينات الأخرى.

III-6-4-تحليل المنحنيات:

تفسير منحنيات التحاليل المخبرية :

أ-تحليل كريات الدم الحمراء (RBC) ومنحنى الـ MC نلاحظ في:

- **العينة الأولى (الشاهد):** أن قيمة (MCVمتوسط حجم الكرية) هي 79.6 fL ، وهي أقل بقليل من الطبيعي (Microcytosis) ، ومنحنى RBCمتمركز بشكل جيد؛
- **بعد 10دقائق:** نلاحظ استقراراً نسبياً في شكل المنحنى وقيم (RDW توزع حجم الكريات) ؛
- **بعد 20دقيقة:** يظهر منحنى (RBC) ضيقاً وحاداً بشكل أكبر مقارنة بالشاهد.

التفسير: الإشعاع المرئي قد يؤدي إلى ظاهرة الاسترخاء الضوئي أو تأثيرات حرارية طفيفة تؤثر على مرونة غشاء الخلية. استقرار المنحنى يشير إلى أن الغشاء لم يتضرر بشكل يؤدي

إلى تحلل الدم (Hemolysis) في هذه المدة الزمنية، لكنه قد يؤثر على لزوجة الدم وتدفق الخلايا داخل جهاز التحليل.

ب-تحليل الصفائح الدموية (PLT) والمعايير المرتبطة بها

هنا تظهر التغيرات الأكثر وضوحاً في القيم الرقمية (المؤشرة بالأسهم في النتائج):

- **في العينة الشاهد:** قيمة (PDW عرض توزع الصفائح) كانت (17.1مرتفعة قليلاً) ؛
- **في عينة 10دقائق و 20دقيقة:** نلاحظ ارتفاعاً مستمراً في قيم (PCT (Plateletcrit لتصل إلى 0.320% و (P-LCC عدد الصفائح الكبيرة) لتصل إلى 106.

التفسير: الضوء المرئي، خاصة إذا كان يميل للأطوال الموجية القصيرة (قرب الأزرق،) قد يحفز تنشيط الصفائح الدموية (Platelet Activation) . الارتفاع في P-LCCو PDWيشير إلى حدوث "تجمع" أو "تغير في شكل" الصفائح (formation Pseudopods) ، مما يجعل الجهاز يقرأها كأجسام أكبر حجماً.

المنحنى البياني (PLT Histogram): نلاحظ أن ذروة المنحنى في العينة الثالثة (20 دقيقة) تبدو أكثر اتساعاً في نهايتها اليمنى، وهذا يؤكد وجود صفائح "عملاقة" أو تجمعات صغيرة ناتجة عن التحفيز الضوئي.

ج-منحنيات كريات الدم البيضاء (WBC Histogram)

- المنحنى الأول على اليسار يمثل الخلايا اللمفاوية، والمنحنى الأوسع يمثل الخلايا الحبيبية (Granulocytes) ؛
- **الملاحظة:** يظهر في منحنى العينة الثالثة (20دقيقة) تداخل أو تغير طفيف في انسيابية المنحنى بين القمتين؛
- **التفسير:** خلايا الدم البيضاء حساسة جداً للإجهاد التأكسدي الناتج عن الضوء(Photodynamic effect). التعرض لمدة 20دقيقة قد بدأ بتغيير الخصائص السطحية لهذه الخلايا.

ملخص المقارنة والفرق (The Shift):

الجدول رقم(4-III): ملخص المقارنة والفرق

المعيار	العينة الشاهد	بعد 10 دقائق	بعد 20 دقيقة	الاستنتاج العلمي
P-LCC الصفائح الكبيرة	84	106	96	تنشيط الصفائح بسبب الإشعاع.
(PCT كتلة الصفائح)	0.287	0.320	0.298	زيادة حجمية مؤقتة ناتجة عن التحفيز.
منحنى RBC	طبيعي	مستقر	أكثر حدة	تأثير الضوء على استقرار غشاء الكرية الحمراء

III -7-المناقشة العامة للنتائج

تشير النتائج إلى أن التعرض للشعاع المرئي يؤدي إلى تغيرات طفيفة لكنها قابلة للقياس في مكونات الدم. حيث لوحظ أن:

III-7-1-الربط بين هيكلية البروتينات وسرعة الترسيب (VS):

- أظهرت نتائج FTIR انزياحاً (Shift) وتغيراً في شدة امتصاص نطاق Amide I عند 1645 cm^{-1}، مما يؤكد حدوث تغيير في البنية الثانوية لبروتينات البلازما (مثل الفايبرينوجين) بفعل الطاقة الإشعاعية؛
- هذا التغير الجزيئي أدى إلى إضعاف الشحنات الكهربائية السالبة السطحية لكريات الدم الحمراء، مما قلل من قوى التنافر بينها وسمح لها بالتكتل والترسب بسرعة،[11] وهو ما يفسر مخبرياً القفزة النوعية لـ VS من 20 mm إلى 100 mm.

III-7-2-تفسير نفاذية غشاء الخلية وارتفاع إنزيم LDH:

- لوحظ في منطقة البصمة (Fingerprint) في طيف FTIR تداخل وفقدان وضوح

القمم الخاصة بروابط الفوسفات والدهون (900-1200 cm^{-1})، خاصة في عينة الـ 20دقيقة؛

- بما أن هذه الروابط هي المكون الأساسي للطبقة الدهنية المزدوجة لغشاء الخلية، فإن اضطرابها في FTIR يفسر فيزيائياً زيادة نفاذية الغشاء، مما سمح بتسرب إنزيم LDH من السيتوبلازم إلى الخارج وارتفاع قيمته من 360 UI/Lإلى 404 UI/L.

III-7-3-تحليل استجابة الصفائح الدموية (PLT13):

- سجلت النتائج ارتفاعاً في معامل الصفائح الكبيرة P-LCC من 84إلى 106ومعامل MPV من10.8 fL إلى11.8 fL بعد 10 دقائق من الإشعاع؛
- يرتبط هذا النشاط مخبرياً بالتغيرات المبكرة المرصودة في FTIR عند روابط الانحناء الدهنية ($1450cm^{-1}$)، حيث عمل الفوتون الضوئي كمحفز (Trigger) لتنشيط الصفائح وتغيير شكلها الفيزيائي.

III-7-4-تفسير استقرار تعداد الكريات (RBC & WBC):

- بقيت أعداد الكريات الحمراء (4.27×10^{6} µL) والبيضاء ($5.64\ 10^{3}\times$ µL) مستقرة عددياً رغم التعرض للإشعاع؛
- يشير هذا إلى أن الإشعاع المرئي في هذه الظروف لا يؤدي إلى تحلل خلوي كامل(Lysis)، بل يقتصر تأثيره على "التعديل النوعي" للروابط الكيميائية والخصائص الوظيفية كما أثبتت أطياف FTIR، وليس التدمير الكمي للخلايا.

III-7-5-تأثير مدة الإشعاع (تراكمية التأثير):

- كشفت المقارنة أن مدة 10دقائق تسبب استثارة اهتزازية للروابط (Vibrational Excitation) تظهر كزيادة في شدة الامتصاص في FTIR؛
- بينما مدة 20دقيقة تمثل العتبة الحرجة التي تؤدي إلى انزياحات كيميائية (Shifts Chemical) واضطراب في منطقة البصمة، مما يفسر وصول قيم VSو LDHإلى أقصى مستوياتها.

المقارنة التكاملية لنتائج تأثير الإشعاع المرئي على الدم:

الجدول رقم(III-5): المقارنة التكاملية لنتائج تأثير الإشعاع المرئي على الدم

المعيار التحليلي	العينة الشاهد (Témoin)	عينة 10دقائق	عينة 20دقيقة	التفسير العلمي للربط بين النتائج
طيف FTIR (الجزيئات)	قمم مستقرة ومنظمة للأميدات والدهون.	زيادة في شدة الامتصاص (استثارة جزيئية) دون انزياح.	انزياح كيميائي واضطراب شديد في منطقة البصمة الجزيئية.	اضطراب الروابط في FTIR هو "السبب" الذي أدى لتغير بقية النتائج المخبرية "الأثر."
سرعة الترسيب (VS)	طبيعية (20 mm.)	ارتفاع حاد (90 mm.)	ارتفاع أقصى (100 mm.)	انزياح قمة الأميد (FTIR) غير شكل البروتينات، مما قلل التنافر بين الكريات وأدى لترسبها السريع.
إنزيم (LDH)	مستقر (360 UI/L)	بداية الارتفاع (400 UI/L).	ارتفاع حرج (404 UI/L) .	خلل روابط الدهون في منطقة البصمة (FTIR) زاد من نفاذية غشاء الخلية، مما سمح بتسرب الإنزيم للخارج.
الصفائح (PLT)	طبيعية (10^3 µL (265×	تنشيط واضح: زيادة في الحجم (MPV=11.8) .	تراجع طفيف في العدد (253) مع بقاء التنشيط.	الطاقة الضوئية حفزت الروابط السطحية (FTIR) مما نشطالصفائح وغير من معاملات حجمها (LCC - P)

الكريات الحمراء (RBC)	عدد طبيعي ومنحنى توزيع واسع	العدد مستقر (μ 4.27×10^{6} L)	العدد مستقر، لكن المنحنى أصبح أكثر ضيقا	ثبات العدد يعني عدم حدوث تحلل كامل، بينما ضيق المنحنى يعكس فقدان مرونة الغشاء المرصود في FTIR

أهم الاستنتاجات المستخلصة من الجدول:

- **علاقة طردية:** كلما زاد اضطراب الروابط الكيميائية في جهاز FTIR، زادت القيم المخبرية لـ VS و LDH بشكل موازي؛
- **الحساسية المتفاوتة:** الصفائح الدموية هي أول من استجاب مخبرياً (عند 10دقائق)، بينما احتاجت البروتينات (VS) والأنزيمات (LDH) لـ 20دقيقة لتصل لتأثرها الهيكلي الكامل؛
- تأتي نتائج التحليل الطيفي FTIR لتقدم التفسير الفيزيائي لسبب تغيرت النتائج الطبية؛ حيث أن تغير شكل الرابطة الكيميائية يغير من وظيفة المادة الحيوية.

الخلاصة والاستنتاج العام:

تُعد هذه الدراسة محاولة علمية جادة للكشف عن التأثيرات الفيزيوكيميائية والبيولوجية التي يمارسها الإشعاع المرئي على أحد أهم السوائل الحيوية في جسم الإنسان وهو الدم. ومن خلال التحليل التكاملي للنتائج التجريبية والمخبرية، يمكننا صياغة الاستنتاج النهائي وفق النقاط الشاملة التالية:

- **التأثير النوعي للإشعاع غير المؤين:** على الرغم من تصنيف الشعاع المرئي ضمن الإشعاعات غير المؤينة (Non-ionizing radiation)، إلا أن نتائج هذه الدراسة أثبتت قدرته الواضحة على إحداث تغييرات جوهرية في الخصائص الريولوجية والفيزيائية للدم. هذه التغيرات لم تكن عشوائية، بل ارتبطت ارتباطاً وثيقاً بامتصاص الروابط

الجزيئية الحيوية للطاقة الضوئية؛

- **العلاقة الزمنية والجرعة الإشعاعية:** أظهرت التجارب أن "مدة التعرض" هي العامل الحاسم في تحديد مآل العينة؛ حيث انتقل التأثير من مرحلة "الاستثارة الاهتزازية" للروابط الكيميائية عند مدة 10 دقائق، إلى مرحلة "الاضطراب الهيكلي" والخلل الوظيفي عند مدة 20دقيقة، مما يؤكد أن التأثير الضوئي تراكمي بطبيعته؛
- **الحساسية الانتقائية لمكونات الدم:** أثبتت نتائج التعداد الدموي (FNS) أن الصفائح الدموية هي المكون الأكثر حساسية وتفاعلاً مع الإشعاع مقارنة بالكريات الحمراء والبيضاء، حيث سجلت معاملات مثل (P-LCC)و (MPV) تغيرات مبكرة تشير إلى تنشيط حيوي ناتج عن التحفيز الضوئي (Photo-activation) ؛
- **التطابق البيو-فيزيائي والجزيئي:** تم التوصل إلى ربط علمي دقيق بين ما رصده طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) وبين النتائج المخبرية؛ حيث أن الانزياح في روابط الأميد واضطراب منطقة البصمة الجزيئية في الغشاء الخلوي كانا السبب المباشر وراء الارتفاع الحاد في سرعة الترسيب(VS) من20mm الى 100 mm، وكذا تسرب إنزيم (LDH) إلى البلازما نتيجة ضعف تماسك الأغشية الخلوية؛
- **الأكسدة الضوئية وتماسك الكريات:** تفتح هذه النتائج آفاقاً لفهم كيفية تأثير الإشعاع المرئي على تماسك كريات الدم الحمراء، خاصة فيما يتعلق بآلية الأكسدة الضوئية التي قد تؤدي لتحرر الهيموجلوبين وتغير الشحنات السطحية للكريات، مما يغير من سلوكها الفيزيائي داخل الأوعية أو أثناء الاختبارات المخبرية.

مراجع الفصل الثالث:

- [1] Stuart, B. (2004). Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons.
- [2] Smith, B. C. (2011). Infrared Spectral Interpretation: A Systematic Approach. CRC Press.
- [3] Barth, A. (2007). Infrared spectroscopy of proteins. Biochimica et Biophysica Acta, 1767(9), 1073–1101.
- [4] Karu, T. (1999). Primary and secondary mechanisms of action of visible to nearinfrared radiation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 49(1), 1–17.

- [5] Hamblin, M. R. (2017). Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. AIMS Biophysics, 4(3), 337–361.
- [6] Hoffbrand, A. V., & Moss, P. A. H. (2016). Essential Haematology (7th ed.). WileyBlackwell.
- [7] Bain, B. J. (2015). Blood Cells: A Practical Guide (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- [8] Burtis, C. A., Ashwood, E. R., & Bruns, D. E. (2012). Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics (5th ed.). Elsevier.
- [9] Henry, J. B. (2011). Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods (22nd ed.). Elsevier.
- [10] Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). Textbook of Medical Physiology (14th ed.). Elsevier.
- [11] Westergren, A. (1957). Studies of the suspension stability of the blood. Acta Medica Scandinavica.
- [12] Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., et al. (2014). Molecular Biology of the Cell (6thed.). Garland Science.
- [13] Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., et al. (2016). Molecular Cell Biology (8th ed.). W.H. Freeman.
- [14] Atkins, P., & de Paula, J. (2018). Atkins' Physical Chemistry (11th ed.). Oxford University Press.

خاتمة

تعد هذه الدراسة تحت عنوان: **"دراسة تأثير الإشعاع المرئي على خصائص السوائل البيولوجية: دراسة مخبرية على عينات الدم"** محاولة علمية لدراسة وفحص التأثيرات الحيوية والفيزيائية التي يتركها الإشعاع المرئي على أحد أهم السوائل الحيوية في جسم الإنسان وهو الدم. ومن خلال الربط بين المفاهيم النظرية والنتائج التجريبية، يمكننا صياغة الاستنتاجات الختامية التالية:

النتائج المتوصل اليها:

- أثبتت الدراسة أن تأثير الضوء المرئي على الدم ليس لحظياً فحسب، بل هو تأثير تراكمي؛ حيث انتقلت الاستجابة من مرحلة "الاستثارة الجزيئية" عند 10 دقائق إلى مرحلة "التعديل الهيكلي" والخلل الوظيفي عند 20 دقيقة؛
- أظهرت النتائج المخبرية (FNS) أن الصفائح الدموية هي المكون الأكثر حساسية للتحفيز الضوئي مقارنة بالكريات الحمراء والبيضاء، مما أدى لتغير معايير حجمها ونشاطها؛
- نجحت تقنية (FTIR) في تقديم التفسير الجزيئي لسبب تغيرات التحاليل الطبية؛ حيث تبين أن اضطراب روابط الدهون والفوسفات في غشاء الخلية هو المسؤول عن تسرب إنزيم (LDH)، كما أن تغير بنية بروتينات البلازما هو ما أدى للقفزة الحادة في سرعة الترسيب(VS) ؛
- طبيعة التأثير: بالرغم من أن الشعاع المرئي غير مؤين، إلا أن طاقته كافية لإحداث "أكسدة ضوئية" تغير من الخصائص السطحية للكريات وتماسك أغشيتها.

التوصيات والاقتراحات:

بناءً على ما تم رصده من تأثيرات للإشعاع على دقة العينات، نوصي بما يلي:

- ضرورة التحكم في شدة ونوع الإضاءة داخل المختبرات الطبية وأثناء عمليات سحب العينات لضمان عدم تأثر الخصائص الفيزيائية للدم قبل التحليل؛
- وضع معايير صارمة لحماية عينات الدم من التعرض المطول للضوء أثناء النقل بين

الأقسام أو المختبرات لتجنب النتائج المخبرية المضللة؛

- التحكم الدقيق في الجرعات الزمنية عند استخدام الإشعاع الضوئي في الأغراض العلاجية لتجنب الوصول إلى مرحلة "الإجهاد الجزيئي الحرجي.

آفاق الدراسة

تفتح هذه المذكرة الباب أمام دراسات مستقبلية أعمق تشمل:

- دراسة آليات الأكسدة الضوئية الناتجة عن الشعاع المرئي على المستوى الذري باستخدام تقنيات مجهرية متطورة؛
- دراسة تأثير الاشعة ذات "الألوان المنفردة" (ليزر أحمر، أخضر، أزرق) للمقارنة بين استجابة الدم لكل طول موجي على حدة؛
- البحث في إمكانية استخدام التحفيز الضوئي المدروس (Photo-activation) كتقنية لتحسين نشاط الصفائح الدموية في حالات طبية معينة؛
- توسيع الدراسة لتشمل تأثير الإشعاع على السوائل البيولوجية الأخرى مثل السائل اللمفاوي أو النخاعي.

الملاحق

الملاحق

الملاحق

الملاحق

الملاحق

Laboratoire d'analyses médicales

Clinique medico-chirurgicale *Ada*

Hay el nasr, Ouargla - Algérie 0659 51 51 42 029 60 99 99

Date de prélèvement: **17-02-2026 13h**

ALLALI MARWA 1

Age : 23 ans

Sexe : Femme

Date : 17-02-2026

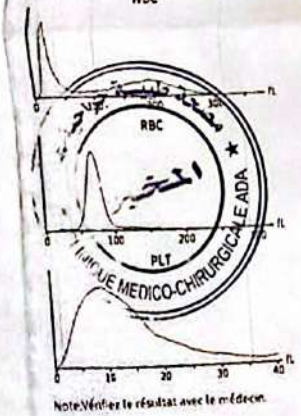
Numéro : 46638

Rapport d'analyse

Nom: ALLALI 1
Sexe:
Âge:
ID: 10
ID d'patient:
Dept.:
Testeur: admin
Livreur:
Auditeur:
Inspection: 2026-02-17 12:56
Temps: 2026-02-17 12:57
Note:

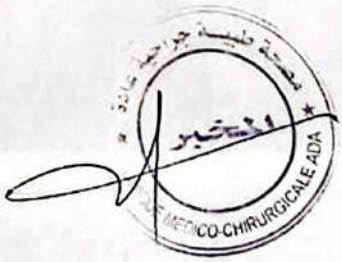
Para.	Résultat		Gamme d'réf.	Unité
WBC	5.60		3.50-9.50	10^3/uL
Lym#	2.06		1.10-3.20	10^3/uL
Mid#	0.48		0.10-1.50	10^3/uL
Gran#	3.06		1.80-6.30	10^3/uL
Lym%	36.7		20.0-50.0	%
Mid%	8.6		3.0-15.0	%
Gran%	54.7		40.0-75.0	%
RBC	4.27		3.80-5.80	10^6/uL
HGB	11.5		11.5-17.5	g/dL
HCT	33.9	↓	35.0-50.0	%
MCV	79.3	↓	82.0-100.0	fL
MCH	26.9	↓	27.0-34.0	pg
MCHC	34.0		31.6-35.4	g/dL
RDW-CV	13.5		11.5-16.0	%
RDW-SD	35.8		35.0-56.0	fL
PLT	271		150-350	10^3/uL
MPV	11.8		6.5-12.0	fL
PDW	16.9		9.0-17.0	fL
PCT	0.320	↑	0.108-0.282	%
P-LCC	106	↑	30-90	10^3/uL
P-LCR	39.2		11.0-45.0	%

WBC



Note:Vérifier le résultat avec le médecin.

	résultat	unité	valeur référence
	Voir Annexe		
Biochimie			
	400*	UI/L	120-320 UI/L
Bilan inflammatoire			
	90	mm	H < (Age/2) F< (Age/2)+10
	/		



Laboratoire d'analyses médicales

Clinique medico-chirurgicale *Ada*

Hay el nasr, Ouargla - Algérie 0659 51 51 42 029 60 99 99

Date de prélèvement: **17-02-2026 12h**

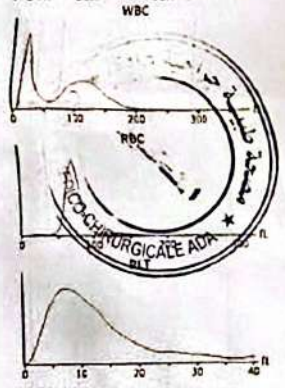
ALLALI MARWA

Age : 23 ans
Sexe : Femme
Date : 17-02-2026
Numéro : 46633

Rapport d'analyse

Nom: ALLALI MARIA
Sexe: Femme
Âge: 23 Année
ID: 4
ID d'patient:
Dept.:
Testeur: admin
Livreur:
Auditeur:
Inspection: 2026-02-17 10:01
Temps: 2026-02-17 10:01
Note:

Para.	Résultat		Gamme d'réf.	unité
WBC	5.64		3.50-9.50	10^3/uL
Lym#	1.93		1.10-3.20	10^3/uL
Mid#	0.36		0.10-1.50	10^3/uL
Gran#	3.35		1.80-6.30	10^3/uL
Lym%	34.2		20.0-50.0	%
Mid%	6.4		3.0-15.0	%
Gran%	59.4		40.0-75.0	%
RBC	4.27		3.80-5.10	10^6/uL
HGB	11.7		11.5-15.0	g/dL
HCT	34.0	↓	35.0-45.0	%
MCV	79.6	↓	82.0-100.0	fL
MCH	27.4		27.0-34.0	pg
MCHC	34.4		31.6-35.4	g/dL
RDW-CV	13.4		11.0-16.0	%
RDW-SD	35.5		35.0-56.0	fL
PLT	265		125-350	10^3/uL
MPV	10.8		6.5-12.0	fL
PDW	17.1	↑	9.0-17.0	fL
PCT	0.287	↑	0.108-0.282	%
P-LCC	84		30-90	10^3/uL
P-LCR	31.8		11.0-45.0	%



Note:Vérifiez le résultat avec le médecin.

résultat	unité	valeur référence
		Voir Annexe
Biochimie		
316	UI/L	120-320 UI/L
Bilan inflammatoire		
20	mm	H < (Age/2) F< (Age/2)+10
50		

Laboratoire d'analyses médicales

Clinique medico-chirurgicale *Ada*

Hay el nasr, Ouargla - Algérie 0659 51 51 42 029 60 99 99

Date de prélèvement: **17-02-2026 13h**

ALLALI MARWA 2

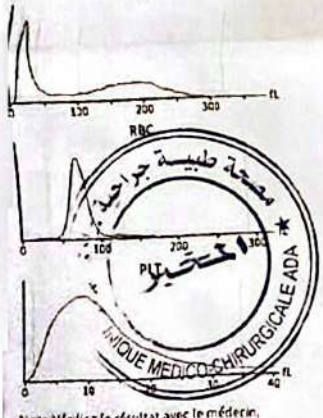
Age :	23 ans
Sexe :	Femme
Date :	17-02-2026
Numéro :	46639

	résultat	unité	valeur référence
	Voir Annexe		
Biochimie			
	404*	UI/L	120-320 UI/L
Bilan inflammatoire			
	100	mm	H < (Age/2) F< (Age/2)+10
	/		

Rapport d'analyse

Nom: ALLALI 2
Sexe:
Âge:
ID: 11
ID d'patient:
Dept.:
Testeur: admin
Livreur:
Auditeur:
Inspection: 2026-02-17 12:58
Temps: 2026-02-17 12:58
Note:

Ana.	Résultat		Gamme d'réf.	Unité
WBC	5.66		3.50-9.50	10^3/uL
Lym#	2.07		1.10-3.20	10^3/uL
Mid#	0.49		0.10-1.50	10^3/uL
Gran#	3.10		1.80-6.30	10^3/uL
Lym%	36.6		20.0-50.0	%
Mid%	8.6		3.0-15.0	%
Gran%	54.8		40.0-75.0	%
RBC	4.26		3.80-5.80	10^6/uL
HGB	11.5		11.5-17.5	g/dL
HCT	33.9	↓	35.0-50.0	%
MCV	79.5	↓	82.0-100.0	fL
MCH	27.1		27.0-34.0	pg
MCHC	34.1		31.6-35.4	g/dL
RDW-CV	13.5		11.5-16.0	%
RDW-SD	35.8		35.0-56.0	fL
PLT	263		150-350	10^3/uL
MPV	11.4		6.5-12.0	fL
PDW	17.0		9.0-17.0	fL
PCT	0.298	↑	0.108-0.282	%
P-LCC	96	↑	30-90	10^3/uL
P-LCR	36.4		11.0-45.0	%



Note: Vérifiez le résultat avec le médecin.