وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الجيلالي بونعامة بخميس مليانة
معهد علوم وتقنيات الأنشطة البدنية والرياضية

السنة الأولى لسانس

محاضرات في مقياس

علـم وظائـف الأعضـاء

إعـداد الدكتـور: جمـال ناصـري

السنــة الجامعيــة: 2023/2022

مقدمة:

إن علم وظائف الأعضاء (الفسيولوجيا) هو أحد العلوم الأساسية والهامة في ممارسة المهن الطبية، حيث أن فهم أساسيات هذا العمل يعتبر ركيزة أساسية للممارسة الإكلينيكية اليومية للأطباء ومساعديهم وكذلك فريق التمريض والصيدلانيين، يشرح هذا العمل الوظائف الطبيعية لأجهزة الجسم المختلفة ويعتبر المفتاح الرئيس لفهم علم الأمراض وفسيولوجية المرض، وكذلك علم الأدوية وآلية عملها.

في هذه الدروس نبدأ بشرح الموضوع بعد تقسيمه إلى عدة نقاط مما يسهل فهمها واسترجاعها عند الحاجة، وكما هو معلوم فإن الحصول على فهم أكمل وأشمل وافضل لأي معلومة كانت يتطلب الرجوع إلى مراجع عدة، لهذا هذه الدروس لا تكفي وحدها لعرض موضوع ما في علم وظائف الأعضاء بل يمكن استخدامه بصحبة مراجع أو محاضرات في المجال نفسه.

لفهم الأفكار الهامة والأساسية في علم وظائف الأعضاء لابد من الرجوع إلى مستوى الخلية الواحدة وفهم محتوياتها والعمليات الاستقلابية التي تتم داخلها، حيث توصف فيزيولوجيا الجسم دائمًا بآليات الاستتباب التي تتحكم ببيئة الخلية، وتعتمد الخلوية على دعم معين من الطاقة بالإضافة إلى التداخل المناسب لأنشطة الخلايا المختلفة في الجسم من خلال آليات المراسلة الفعالة، الكهربائية والكيميائية. ويلعب الغشاء الخلوي دورًا هامًا في معظم تلك الوظائف؛ إذْ يعمل كحاجز بين البيئة الداخلية والخارجية ومن خلاله يتم انتقال الجزئيات الهامة. وتتضمن خصائص الأغشية الخلوية للخلايا المتهيجة توالد وإنتاج كمون الفعل (Action potential)، وكثيرًا من المستقبلات التي تميز المراسلات الكيميائية تكون مرتبطة بالغشاء.

ومن ثم يتم الانطلاق لفهم عمل وظائف الأجهزة المختلفة في الجسم وربطها مع بعضها البعض في ظل ظروف الجسم الطبيعية، لذا فقد بدأنا في الوحدة الأولى بشرح

فسيولوجية القلب والأوعية الدموية، ثم في الوحدة الثانية شرحنا الدم والفسيولوجية التابعة له ، أما في الوحدة الثالثة تطرقنا إلى فسيولوجية الجهاز التنفسي أما في الوحدة الرابعة فقد درسنا فسيولوجية الجهاز الهضمي، وأخيرًا في الوحدة الخامسة فقد تم التطرق إلى الفسيولوجيا العصبية العضلية.

الوحدة الأولى: فيزيولوجيا القلب والأوعية الدموية.

إن وظيفة القلب والأوعية الدموية تعكس خصائص كلاً من مختلف الأوعية الدموية والتي تكون الدورة الدموية والقلب، والذي يقوم بضخ الدم من خلال تلك الأوعية، تعتمد فيزيولوجيا القلب على الخصائص الكهربائية والميكانيكية لخلايا القلب، وكذلك تعتمد على تناغم تلك الخصائص مع بعضه البعض في القلب الحقيقي، وتكون تلك الأنشطة القلبية تحت التحكم، البعض من العوامل التحكم داخلية من القلب نفسه وبعضها الآخر خارجية من اجهزة أخرى تعتمد على الهرمونات والنشاطات العصبية، نتيجة لذلك يكون هناك تفاوت في النتاج القلبي لتقابل التغيرات في احتياجات الأنسجة.

يعتمد جريان الدم في الأوعية البعيدة عن القلب على كل من الضغط الشرياني المولد بواسطة القلب، وعلى المقاومة المحلية لهذا الجريان، هذه العوامل هي أيضًا تحت التحكم الداخلي والخارجي. إن عملية تبادل الغازات والتغذية هما أهم أهداف جهاز القلب والأوعية الدموية، وتتمان في الأوعية الدقيقة، يعود الدم ثانية إلى القلب عبر الأوردة بينما يعود الدم المرشح عبر الشعيرات الدموية إلى الدورة الدموية من خلال السوائل الجار خلوية بواسطة الأوعية اللمفاوية.

أولا- مكونات الدروة الدموية:

يحتوي جهاز القلب والأوعية الدموية على مضخة عضلية (القلب) وكذلك دورتين دمويتين محددتي الوظيفة وهما: الدورة الدموية إلى أجهزة الجسم، والدورة الرئوية، يعتمد جريان الدم خلال الأوعية الدموية إلى الأجهزة على انقباض البطين الأيسر للقل، والذي يضخ الدم إلى الشريان الابهر، ومن ثم تتفرع الشرايين الكبيرة من الأبهر لتغذي أجزاء مختلفة من الجسم بالدم حيث تغذي هذه الأوعية أقسام الجسم بشكل متوازي لبعضه البعض. في كل نسيج من أنسجة الجسم، تتفرع الشرايين إلى شرايين أصغر فأصغر وتترتب بشكل متسلسل حيث تنتهي بشرايين صغيرة (artrioles) والتي تغذي الشعيرات

الدموية في الأنسجة، تعتبر هذه الشعيرات مواقع تبادل الغازات والعناصر الغذائية بين السوائل جار خلوية وبين الدم، تقوم الشعيرات الدموية بتفريغ الدم إلى الأوردة الصغيرة وذلك بعد إتمام عملية تبادل الغازات والمواد الغذائية ومن ثم يذهب الدم إلى الأوردة الكبيرة والتي تفرغ الدم في الوريد الأجوف العلوي والسفلي، هذان الوريدان هما أكبر وريدان يقومان بإعادة الدم إلى الأذين الأيمن للقلب.

يقوم الجزء الأيمن من القلب بضخ الدم إلى الدورة الدموية الرئوية ويتم تعبئة البطين الأيمن للقلب من الأذين الأيمن ومن ثم ينقبض ليعود الدم إلى الجهاز التنفسي والذي عن طريقه يتم تغذية الشرايين الرئوية، إن الشعيرات الدموية الرئوية تكون باتصال متلازم بالحويصلات الهوائية الموجودة في الرئة حيث تدخل في عملية ضخ الغازات التي من خلالها يتم أكجسة الدم، وبعد ذلك تقوم الأوردة الرئوية بنقل هذا الدم المحمل بالأوكسجين إلى الأذين الأيسر للقلب، وبالتالي تكتمل الدورتين الدمويتين في الجسم.

1- البنية القلبية:

يتكون القلب من مضختيهن مرتبة على شكل محقن عضلي قمته متجهة إلى الأسفل مع انحراف قليلا إلى اليسار وقاعدته إلى الأعلى خلف عظمة القص. تتكون كل مضخة من حجرتين، حيث يفتح الأذين ذو الجدار الرقيق على البطين ذو الجدار الأكثر عضليًا، يغطي الغشاء الشفاف (endocardium) السطح الداخلي لجدار القلب العضلي والذي هو مغطاة من الخارج بالغشاء النخابي (épicardium). ويحيط القلب بشكل عام غشاء ليفي قوي يدعى بالتأموري. إن الصمامات التي بين الأذين والبطين تمنع الحركة العكسية للدم من البطنين إلى الأذنين في الجزء الأيمن للقلب، يحتوي الصمام الواقع بين الأذين والبطين على ثلاث شرف حيث يدعى بالصمام ذو ثلاث شرف. بينما في الجزء الأيسر، فإن ذلك الصمام الواقع بين الأذين والبطين يحتوي على شرفتين، كما أن هناك صمامات ذوات اتجاه واحد يندفع فيها الدم من البطين الأيمن إلى الجزء الرئوي من الدورة

(الصمام الرئوي) ومن البطين الأيسر إلى الأبهر (الصمام الأبهري) وإلى جميع أجهزة الجسم، إن حجرات القلب اليمنى واليسرى تنفصل عن بعضها البعض بواسطة جدار مشترك يدعى بالحاجز الأذيني البطيني.

2- الخلايا العضلية القلبية:

تحتوي الخلايا العضلية القلبية وتعرف أيضا بالألياف القلبية، على بروتينات قابضة، إن العضلة القلبية غنية بالميتوكندريا، مما يوضح اعتمادها على عملية الاستقلاب الهوائي، وتحتوي الخلية الواحدة على نواة واحدة فقط. تتفرع الألياف عند إحدى نهايتها وتتصل بالخلية المجاورة لها بشكل تسلسلي من خلال أغشية خلوية تدعى بالأقراص المدخلة. تربط الجسيمات رابطة الأغشية الخلوية للخلايا المتجاورة في الأقراص المدخلة. هناك أيضًا قنوات بروتينية خاصة في الغشاء الخلوي والتي تكون موصلات فسيحة والتي تربط السائل الخلوة للخلايا المجاورة على جانبي الأقراص المدخلة. توفر مواصلات النقل اتصالا كهربائيًا ميسرًا بين الخلايا حيث تسهل عملية انتقال كمون الفعل وبسبب وجود تلك الموصلات للنقل، يعمل القلب بشكل مخلوي أي مع بعضه البعض لسهولة تدفق الإشارات الكهربائية، وذلك يؤدي إلى انقباضه متوافقة ومتزامنة مع تلك الإشارات.

ثانيا- الخصائص الكهربائية للقلب:

إن الخلايا القلبية العضلية قابلة للتهيج والإثارة، حيث أن الإشارة المؤدية إلى انقباض في العضلة هي عبارة عن تولد كمون الفعل في غشاء تلك الخلية العضلية، إن من الأهمية بمكان معرفة الطرق الخلوية التي تولد كمونات الفعل. إن فهمك كيفية تدفق الأنشطة الكهربائية من خلية إلى أخرى مما ينتج عنه توافق أنشطة ميكانيكية فعالة من تلك الخلايا العضلية والتي تنتهي بعملية الضخ المتناغم في القلب الحقيقي ليس بأقل أهمية من فهم تولد كمون الفعل.

1- كمونات الفعل في العضلة القلبية:

إن التسجيلات الخلوية لكمون فعل غشاء الخلايا العضلية في البطين عند الراحة مشابهة لخلايا العضلات الهيكلية، لكنها أكثر سالبية من الأعصاب، والتي تكون تقريبا 90 مل فولت، إن عملية إزالة الاستقطاب إلى مرحلة التحفيز للغشاء الخلوي تؤدي إلى حدوث أو عدم حدوث كمون الفعل في ذلك الغشاء بشكل معين، إن عملية عودة الاستقطاب النهائية بطيئة جدًا مما يؤدي إلى حدوث ما يسمى بهضبة كمون الفعل اي بقاء كمون فعل الغشاء ثابت لمدة 150 إلى 300 ثانية عند صفر مل فولت تقريبًا، ثم يبدا كمون فعل الغشاء بالعودة للاستقطاب بشكل سريع حتى يصل إلى مستوى كمون الراحة.

إن هضبة كمون الفعل في العضلة القلبية هي التي تميز كمون الفعل في العضلة القلبية من العضلة الهيكلية أو العصب، حيث أنها تعمل على تطويل مدة كمون الفعل في العضلة القلبية، إن هذه العملية لها توابع وظيفية مهمة في الأنشطة الميكانيكية للقلب، إن الخلايا القلبية تكون في حالة ممانعة مطلقة لإعادة تحفيز في كل مدة كمون الفعل وايضًا تكون على نسبة عالية من حالة الممانعة النسبية لمدة 50 مل ثانية إضافية، لذلك لا يتم توليد كمون فعل آخر لمدة 350 مل ثانية من بداية التحفيز الأول في خلايا البطين، غن عمليتي الانقباض والانبساط العضلي تتم خلال هذه المدة وبالتالي فأنه من المستحيل حدوث تجمع لعدة انقباضات، أو تواتر (التكزيز)، كما يحصل في العضلات الهيكلية عند زيادة تردد التحفيز، وبما أن ضخ القلب الفعّال يعتمد على انقباض يعقبه انبساط، فإن إطالة مكمون الفعل تحمي القلب من حدوث خلل في عملية الضخ والتي قد تحصل بسبب الانقباضات المستمرة وتمنع حدوث إعادة تعبئة للقبل بالدم. إن إطالة مدة كمون الفعل أيضًا تحدد الحد الأعلى لنسبة الانقباضات والتي لا تتعدى 3 أو 4 ضربات في

الثانية للبطين، أما نسبة انقباض الاذين فقد تكون أعلى لأن كمون الفعل لخلايا الأذين وكذلك مدة الممانعة أقصر أقل من 200 مل ثانية.

2- آلية كمون الفعل في القلب:

إن آليات كمون الفعل في القلب مماثلة لتلك التي في العصب بمعنى أنها تعتمد على مدروج الأيونات في الغشاء الخلوي وكذلك نفاذية تلك الأيونات التي تعتمد على حساسيتها تجاه فولط الغشاء، هناك ثلاث شوارد أو أيونات تدخل في عملية كمون الفعل، الصوديوم، الكالسيوم، والبوتاسيوم.

قنوات الصوديوم: تعمل عملية إزالة الاستقطاب على فتح قنوات الصوديوم مما يؤدي إلى زيادة تدفقه، وهذا يكون تيارًا من الصوديوم الداخل الذي يزيدي من عملية غزالة الاستقطاب، وينتج عن ذلك شحنة موجبة التي تدعم حدوث عملية إزالة الاستقطاب بسرعة كما هو الحال في العصب، بعد ذلك يقل تدفق الصوديوم لأن استمرار إزالة الاستقطاب تعمل على عدم تنشيط قنوات الصوديوم، وتبقي الخلية في حالة ممانعة لحدوث تحفيز آخر حتى تعود إلى حالة الراحة والتي تتبع عملية الاستقطاب.

قنوات الكالسيوم: هناك أيضًا قنوات الكالسيوم في غشاء الخلية التي تفتح في حالة حدوث إزالة الاستقطاب، يتم تنشيط هذه القنوات بشكل أبطء من قنوات الصوديوم، ولكن عند فتحها تسمح لأيونات الكالسيوم بالدخول إلى الخلية، يحافظ هذا التيار الداخل من ايونات الكالسيوم على إبقاء إزالة الاستقطاب لغشاء الخلية مما يؤدي إلى حدوث ما يسمى بالهضبة في كمون الفعل.

قنوات البوتاسيوم: إن التغيرات في تدفق البوتاسيوم في عضلات القلب أكثر تعقيدًا من تلك الموصوفة لخلايا العصب، يقل تدفق البوتاسيوم خلال حدوث إزالة الاستقطاب، حيث أن خلال مرحلة العتبة في كمون الفعل بكون تيار البوتاسيوم الخارج أقل من الطبيعي، هذه الحالة تجعل تيار الكالسيوم الداخل يحافظ على عملية إزالة

الاستقطاب الغشاء بشكل أسهل حيث إن التيار المعاكس له قليل جدًا، وبعد ما يقارب 200 مل ثانية يزداد تيار البوتاسيوم الخارج من الخلية، يعمل هذا التيار على إعادة الاستقطاب للغشاء، إن عملية ضعف تدفق البوتاسيوم في البداية ومن ثم زيادة تدفقه استجابة لعملية الاستقطاب توضح حقيقة وجود أنواع من قنوات البوتاسيوم في غشاء الخلية والتي تستجيب كلاً منها للتغير في فولت الغشاء بشكل مختلف عن الأخرى.

3- نشاط الكهربائي التلقائي (الأتوماتيكية):

إن القلب المعزول ينبض بشكل منتظم من غير تحفيز خارجي سواء كان عن طريق الأعصاب أو بواسطة الهرمونات، إن هذه الأتوماتيكية في ميكانيكية الحركة توضح حقيقة كمون الفعل والذي يتدفق من خلال القلب (الإشارات المؤدية لحدوث الانقباض) والذي يتوالد بشكل تلقائي من عضلة القلب، هذا النوع من النشاط يدعى بالنشاط عضلي المنشأ وهو على خلاف كمون الفعل في العضلة الهيكلية والذي دائمًا يكون عصبي المنشأ، بمعنى أنه يتوالد في حالة وجود تحفيز عصبي، إن الخلايا المسؤولة عن إنتاج كمون الفعل التلقائي تدعى بالخلايا الناظمة لأنه هي التي تحدد عدد ضربات القلب. إن التسجيل الكهربائي لتلك الخلايا يوضح وجود ما يسمى بكمون إزالة الاستقطاب ما بين كمون فعل وكمون فعل آخر بدلاً من كمون الراحة ويسمى ذلك الكمون بكمون الخلايا الناظمة، حيث عندما تصل حدة التحفيز إلى العتبة تحصل عملية كمون الفعل وبعد ذلك تتوالى سلسلة أحداث كمون الفعل.

هناك عدة أنواع من الخلايا في القلب تستطيع العمل كخلايا الناظمة، ولكن في العضو الحقيقي فإن الخلايا الناظمة الحقيقية هي التي تدير كل أجزاء القلب، بمجرد أن يتم حدوث كمون الفعل في أحد الأجزاء، يتم تدفقه إلى جميع أجزاء القلب بشكل سريع مما يؤدي إلى توالد كمون فعل آخر في خلايا ناظمة بطيئة قبل أن يتم إنتاج كمون الفعل

فيها تلقائيا، عادة يكون تردد إنتاج كمون الفعل في الخلايا الناظمة التي تدعى بالعقد الجيبية الأذينية أعلى والتي تحتوي على شكل مختلف من كمون الفعل.

إن هذه الخلايا تقوم بالسيطرة على جميع الأحداث الكهربائية في القلب هذا التنظيم ينتج 60 إلى 70 نبضة في الدقيقة في حالة الراحة، كما أن النمط الطبيعي لعملية الانقباض الناتجة من جراء تلك الأحداث الكهربائية تدعى بالتنظيم الجيبي.

4- طرق التدفق في القلب:

يتم إنتاج كمونات الفعل القلبية هادةً من الخلايا الناظمة في العقدة الجيبية الأذينية والتي تقع في جدار الأذين الأيمن قريبًا من الوريد الأجوف العلوي، وتتدفق كمونات الفعل من العقدة الجيبية الأذينية من خلال الياف الأذين الطبيعية. ويتم ذلك عن طريق البنية المتفرعة لخلايا القلب حيث إن سهولة انتقال هذه الإشارة هي بسبب وجود مواصل الفسحة (gap junction) القليلة المقاومة على الأقراص المدخلة (intercalated disc). إن سرعة تدفق كمون الفعل في عضلات الأذين هي 0.3 مل/ثانية وهذه السرعة تعتبر سريعة بشكل كافي لحدوث انقباض متزامن في الأذين لضخ الدم إلى البطين.

تقع العقدة الأذينية البطينية في الجدار الفاصل الأذيني في النصف السفلي من الأذين الأيمن، وتتكون من أنسجة تدفقية والتي لها القدرة على إنتاج كمون الفعل والعمل كخلايا ناظمة ولكن عادة تقاد عن طريق كمونات الفعل الناتجة من العقدة الجيبية الأذينية، إن التدفق من خلال العقدة الأذينية البطينية عادةً بكون بطيئًا وذلك يؤخر انتقال كمونات الفعل إلى البطين من أجل التأكد من عدم حدوت انقباض في البطين حتى يتم اتمام انقباض الأذين. ينتقل كمون الفعل من الأذينين إلى البطينين عن طريق الحزمة الأذينية أو ما يسمى بحزمة هس (Bundle of His). تنقسم بعد ذلك حزمة هس إلى فرعين، واللذان ينقلان الإشارة إلى جانبي الجدار الفاصل للبطينين باتجاه رأس القلب السفلي، يمتد هذين الفرعين بألياف تدعى ألياف بوركنجي (Purkinje fibres) والتي تتفرع

في عطلة البطين. إن التدفق في الحزمة الأذينية البطينية ومن ثم فرعي الحزمة إلى ألياف بوركنجي سريع جدًا (2–4 مل/ثانية) مما يضمن حدوث انقباض متناغم في كل عضلات البطين، إن التدفق المحلي بين خلية وأخرى في البطين أقل بكثير (0.5 مل/ثانية) من التدفق في تلك الألياف.

5- تقلص العضلة القلبية:

إن الفكرة الخلوية الأساسية العملية الانقباض مطابقة لفكرة انقباض العضلة الهيكلية، حيث توجد الليفات العضلية السميكة والرقيقة والتي تتحرك فوق بعضها البعض مكونة الجسور المعترضة بين بروتينات المايوسين (Myosin) والأكتين (Actin)، يعتمد تكون الجسور المعترضة على تركيز شوارد الكالسيوم في سيتوبلازم الخلية حيث ازدياد تركيز الكالسيوم يؤدي إلى حدوث الانقباضة عن طريق التغيرات الشكلية التي تحصل في بروتينات التريونين والتريوماسين على الليفات العضلية الرقيقة، إن العمل الذي يثير حدوث الانقباض هو كمون الفعل لتلك الخلية العضلية، في العضلة القلبية يتم إفراز شوارد الكالسيوم من المخزن الداخلي لها، الشبكة الساركوبلازمية (sarcoplasmic reticulum)، بسبب حدوث كمون الفعل ولكن الآلية تختلف عن تلك التي في العضلة الهيكلية حيث إفراز الكالسيوم يتم مباشرة بعد عملية إزالة استقطاب الغشاء الخلوي، إن أهم إثارة في القلب هي دخول شوارد الكالسيوم إلى الخلية خلال مرحلة الهضبة في كمون الفعل، وبمجرد حدوث عملية إعادة الاستقطاب للغشاء، فإن شوارد الكالسيوم تزال من السيتوبلازم، ‘ما عن طريق خروجها عبر الغشاء الخلوي إلى الخارج أو عن طريق تخزينها مرة أخرى في الشبكة الهيولية ومن ثم تعود الخلية إلى حالة الراحة.

ثالثا- الدورة القلبية:

إن الدورة القلبية هي عبارة عن الأحداث الكهربائية والميكانيكية التي تتم خلال دورة واحدة من الانقباض والارتخاء، وتشرح أنماط التغير في قياسات الوظائف

الميكانيكية والكهربائية للفرد وكيف أن الأحداث الزمنية لكل حجرة في القلب تتعلق بأحداث الحجر الأخرى.

1- الأحداث الميكانيكية:

وتتعلق الأحداث الكهربائية بما يلي:

أ- الضغط البطيني:

هو أبسط موجات الضغط الثلاثة ذات العلاقة أثناء انبساط البطين، أي عندما يكون في حالة الراحة، حيث يكون منخفضا ثم يرتفع في نهاية انبساط العضلة لأن الأذين يكون في حالة انقباض، والذي يضخ الدم أيضًا إلى البطين، وفي حين كون الأذين في حالة الراحة يقل الضغط فيه ولكن يكون البطين في حالة الانقباض، وبالتالي يزداد الضغط بقوة حتى يصل إلى 120 ملم زئبق في البطين الأيسر، إن الموجة المكونة من جراء الضغط في البطين الأيمن مماثلة تمامًا بالموجة التي تصدر من البطين الأيسر، ولكن أعلى حد لموجة البطين الأيمن في حالة الانقباض هي (25 ملم زئبق) وبعد ذلك يعود الضغط إلى قيمته المنخفضة الاساسية عندنا يكون البطين في حالة الراحة.

ب- الضغط الأذيني:

هناك ثلاث قمم في الضغط الأذيني وتعرف بالموجات "a،c،v"، عندما يكون البطين في حالة الراحة (الانبساط)، يوجد مدروج للضغط والذي يفضل أن يندفع الدم من الأذين إلى البطين عبر الصمامات الأذينية البطينية المفتوحة، يبقى الضغط الأذيني ثابت عند 1 ملم زئبق تقريبًا، ولكن عند حدوث الانقباض في الأذين فإنه يرتفع إلى 6 ملم زئبق وهذا ما يسمى بموجة "a"، بعد ذلك تبدأ مرحلة الراحة في الأذين ويبدا البطين بالانقباض هذه الحالة تعكس اتجاه مدروج الضغط ونتيجة لذلك فإن الصمام الأذيني البطيني ينغلق، إن الضغط العكسي على شُرف الصمام والناتج من الانقباض الأولي

للبطين، عندما تكون جميع الصمامات التي تسمح بدخول لادم إلى البطين أو بخروجه منه مغلقة، يؤدي إلى ارتفاع آخر في الضغط الأذيني والممثل بموجة "c". بمجرد أن ينفتح الصمام الأبهري أو الصمام الرئوي ينخفض الضغط الأذيني بشكل سريع حتى يصل الصفر، ويستمر الدم بالدخول إلى الأذين من الجهاز الوريدي، وبما أن الصمامات الأذينية البطينية مغلقة فهناك زيادة ثابتة في الضغط والممثلة بموجة "v". هذه القمم التي تخص الضغط الأذيني والتي تعادل 3 أو4 ملم زئبق، تأتي قبل السقوط القوي في الضغط البطيني والذي يصل إلى أقل من الضغط الأذيني، بعد ذلك تفتح الصمامات الأذينية البطينية ويسقط الضغط الأذيني إلى 1 ملم زئبق تقريبا.

ج- الضغط الأبهري:

أثناء الانبساط البطيني، يكون هناك انخفاض في الضغط الابهري حتى يصل تقريبًا 80 ملم زئبق، وفي خلال هذه الفترة نجد أن الضغط الأبهري أعلى من الضغط البطيني الأيسر، ويبقى الصمام الأبهري مغلق، ولكن عند حدوث الانقباض البطيني فإن الضغط البطيني يصبح أعلى من الضغط الأبهري مما يؤدي إلى ضخ الدم إلى الشريان الأبهري من البطين الايسر. إن الضغط الأبهري يتبع ضغط البطين في حدثه أثناء الانقباض حيث يصل تقريبًا 120 ملم زئبق، ولكن عندما يبدأ الضغط البطيني بالانخفاض يكون انخفاض الضغط الأبهري جدًا بطيء، وهذا يوضح مرونة الشريان الأبهري والذي يحصل له استطالة خلال تعبئته بالدم بشكل سريع عند انقباض البطين الأيسر، ومن ثم يتم فقدان طاقة المرونة المخزنة عند حدوث الانبساط، حيث يرجع جدار الشريان الأبهري بشكل كامن إلى الوضع الطبيعي له، وبالتالي يتم المحافظة على الضغط الأبهري، لذا فإن المنحنى الأبهري والمحنى البطيني يلتقيان مرة أخرى ويتم إغلاق الصمام الأبهري, وذلك يؤدي إلى منع رجوع الدم إلى البطين ثانية، وقوة التدافع

الناتجة عن تزاحم الدم في الشريان الأبهري تؤدي إلى ظهور ارتفاع قصير في الضغط الشرياني.

ينهج الضغط في الجزء الرئوي نفس أنماط الضغط الأبهري إلا أنه أقل بكثير حيث يتراوح عند 10/25 ملم زئبق إذا ما قورن بالضغط الأبهري (80/120 ملم زئبق كضغط انقباضي وانبساطي)، وهذا يوضح انخفاض المقاومة في الدورة الرئوية، في حين أن الدورة الدموية إلى الأجهزة والدورة الرئوية متعادلتان تقريبًا.

د- أصوات القلب:

إن انغلاق صمامات القلب يصدر اهتزازات ميكانيكية تُسمع على جدار الصدر من الخارج على أنها أصوات القلب، إن الصوت الأول للقلب هو نتيجة انغلاق الصمامات الأذينية البطينية والتي تعتبر مؤشرًا لبدأ انقباض البطينين أما الصوت الثاني للقلب فنتيجة لانغلاق الصمام الأبهري والصمام الرئوي، إن الفترة بين الصوت الأول والثاني تُعرف إكلينيكيا بالانقباض البطيني (ventricular systole)، أما الانبساط البطيني فهو الفترة بين الصوت الثاني والصوت الأول من الدورة التالية، ولابد من الملاحظة هنا أن انفتاح الصمام لا يعطي صوتًا ملحوظًا.

2- الأحداث الكهربائية:

تعمل الإشارات الكهربائية في القلب كمحفزات للاستجابة الميكانيكية حيث إن كل موجة للقلب لها علاقة بلحظة التغير في الضغط.

رابعا- وظائف الشعيرات الدموية:

إن عملية تبادل السائل المذاب بين الدم والمنطقة الخلالية تتم في الشعيرات الدموية، حيث يتم عند هذه النقطة تنفيذ الوظيفة الأساسية لجهاز القلب والأوعية الدموية، الدعم للعملية الاستقلابية في الخلايا.

1- تنظيم الدورة الدوية الدقيقة:

تتشعب الشريانات الصغيرة إلى شريانات أصغر حيث يقوم كلاً منهما بتغذية عدد من الشعيرات الدموية، إن فتحة هذه الشريانات الصغيرة اتجاه الشعيرات الدموية محاطة بخلايا عضلية ناعمة دائرية لتكون صمامًا قبل الدخول على الشعيرات، حيث تقوم هذه الصمامات بالانقباض والانبساط بشكل تلقائي مما يغيّر تدفق الدم في الشعيرات الدموية بشكل مستمر وتدعى هذه الحركة بالحركة الوعائية. إن متوسط الضغط والتدفق في هذه الشعيرات يبقى ثابتًا تقريبًا إذا لم يكمن هناك تغيرات كبيرة في حالة الجسم، وقد تنفتح الأوعية الناقلة مما تحول تيار الدم بعيدًا عن الشعيرات الدموية المتجاورة.

2- بنية الشعيرات الدموية:

يمثل جدار الشعيرات الدموية أهم حاجز في عملية تبادل الأغذية في الأوعية الدقيقة، ولا يحتوي هذا الجدار على خلايا عضلية ناعمة ولكن يحتوي على طبقة أحادية من الخلايا البطانية (Endothelial Cells) والمحاطة بالغشاء الأساسي (Basement membrane)، هناك مسافات أساسية بين الخلايا المتجاورة تعرف بالشقوق بين الخلايا (intercellular clefts)، تكون هذه الفراغات مغلقة في بعض الأنسجة مما تقلل نفاذية جدار الشعيرات لمذابات بلازما الدم.

3- آلية التبادل من خلال الشعيرات الدموية:

إن عددًا من الخطوات المختلفة تساهم في النقل عبر جدار الشعيرات مما يساعد على حدوث التبادل بين البلازما وبين السائل الخلالي.

النضح: يتم أكبر قدر من عمليات التبادل عبر الشعيرات الدموية بواسطة هذه الطريقة، يعتمد اتجاه ونسبة نضح أي جزيئي أو عنصر على عاملين مهمين، يوفر مدروج التركيز عبر الشعيرات الدموية قوى الدفع لعملية النضح، إن جزيئات الجلوكوز وعناصر الأكسجين تكون ذات تركيز عال في بلازما الدم أكثر من السائل الخلالي وبالتالي يتم رشحهم إلى خارج الشعيرات الدموية، بينما المنتجات الضارة مثل ثاني أكسيد الكربون تتجمع حول الخلايا الاستقلابية ويتم رشحها إلى الداخل.

تحدد نفاذية الشعيرات الدموية نسبة النضح تحت اي مستوى من التركيز، إن المواد ذات قابلية الذوبان في الدهون يتم رشحها عبر الخلايا الباطنية، مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، أما المواد المستقطبة مثل الجلوكوز والأيونات المختلفة، فإنها لا تذوب في الدهون ولكن يتم رشحها عن طريق الشقوق ما بين الخلايا، ولكن مثل هذه الطرق تكون محددة بحجم الجزيئي الناضح وبالتالي الجزيئات كبيرة الحجم مثل بروتينات البلازما ليس من السهل عبورها من خلال الشعيرات الدموية.

الابتلاع: تعتبر عملية الابتلاع في الخلايا الباطنة أحد وسائل النقل لبعض من الشعيرات الدموية لنقل السوائل والجزيئات الكبيرة ولكن مجمل مساهمة هذه الطريقة في النقل قد تكون بسيطة.

ترشيح السوائل وامتصاصها: إن مدروج الضغط عبر جدار الشعيرات يحدد حجم تدفق السائل من خلالها، حيث أن الماء والعناصر الصغيرة، وأيضًا الجزيئات يتم ذوبانها في تلك السوائل وبالتالي يتم عبورها عن طريق جدار الشعيرات، إن القوى المسؤولة عن حدوث هذا التدفق ترجع أحيانًا إلى قوى إستارلنج (Forces Starling)، التي تملك المقترح

الأساسي لنظرية تبادل السوائل عبر الأغشية، إن العوامل الآتية مهمة في تحددي نسبة الترشيح أو الامتصاص عبر الشعيرات الدموية.

خامسا- الجهاز الوريدي:

تعمل الأوردة على شكل قنوات وعائية التي تكمل دورة الدم إلى القلب، ويعزز هذا الدور بشكل قوي عن طريق الصمامات ذات الاتجاه الواحد والتي تضمن اتجاه لادم إلى المركز عن طريق ضغط العضلات القابضة في جدار الأوعية. تعمل الأوردة أيضًا على شكل مستودع وعائي، والذي يخزن لادم حيث يتم استخدامه عند الحاجة، وهذا يوضح حقيقة أن الأوردة قابلة للاستطالة وأكثر مرونة من الشرايين.

1- الضغط الوريدي المركزي:

الضغط الوريدي المركزي هو الضغط النتاج من الجهاز الوريدي ويقاس على أنه الضغط الموجود في البطين الأيمن حيث هو المكان الذي ينتهي فيه الوريد الأجوف، والقيمة المتوسطة له تكون بين 1 – 5 ملم زئبق، يعتمد الضغط الوريدي المركزي على الموازنة بين العود الوريدي، والذي يوفر الدم إلى الأذين الأيمن، وبين عمل البطين الأيمن الذي يقوم بضخ الدم خارج المنطقة اليمنى للقلب. إن زيادة أو نقصان حجم الدم يؤدي إلى تغيرات موازية في العود الوريدي وكذلك الضغط الوريدي المركزي بينما الفشل الوظيفي في البطين الأيمن يؤدي إلى زيادة الضغط الوريدي المركزي، يتم وكذلك الضغط الوريدي المركزي بواسطة القياس المباشر لمراقبة ما إذا كان المرض في حالة فرط ام تحت مستوى السوائل الطبيعية داخل الأوعية.

2- النبض الوريدي الوداجي:

يمكن ملاحظة هذا النوع من النبض سرسريًا كنبضتين في الاوردة الوداجية في الرقبة، يعتبر الوريد الوداجي مؤشرًا فسيولوجيًا حيث يوضح الضغط الوريدي المركزي،.

إن الارتفاع العامودي للنبض الوداجي الأيمن له علاقة بالزاوية القصبية (عظمة الصدر) وهي عبارة عن مؤشر لمستوى الاذين الأيمن وعادة تسجل وتبلغ تقريبًا 2–4 سم، يرتفع الضغط الوريدي الوداجي في حالة حدوث فشل في البطين الأيمن.

3- الضغط الوريدي المحيطي:

يعود هذا الضغط إلى الضغط في الأوردة والذي يغذي مختلف الأنسجة والأعضاء في الجسم، هذا النوع من الضغط له محل اهتمام المشخصين في العيادات لأن الضغط الوريدي يؤشر بشكل مباشر على الضغط الشعيري، وزيادة الضغط الوريدي هو أحد الأسباب الرئيسية في حدوث الانتفاخ.

ثلاثة رئيسية عوامل تؤثر على الضغط الوريدي المحيطي:

- **الضغط الوريدي المركزي:** يساهم الضغط الوريدي المركزي عادةً بـ 2–3 ملم زئبق في الضغط الوريدي، ولكن بارتفاع أو انخفاض الضغط الوريد المركزي فإن الضغط الوريد المحيطي يتأثر بالمثل.

- **المقاومة الوريدية:** هناك مدروج بالضغط بين الأوردة المركزية والأوردة المحيطية بسبب تأثير المقاومة الوريدية على تدفق الدم، إذا كانت هذه المقاومة منخفضة.

- **وضع الجسم:** إن حالة الجسم لها تأثيرات مهمة على الضغط الوريدي، حيث تعمل الجاذبية الأرضية على تنشا مدروج الضغط المائي الساكن، يقلل الضغط المائي الساكن من الضغط داخل الأوردة لاتي تكون أعلى من مستوى القلب ولكن لا ينخفض أقل من مستوى الضغط الجوي (صفر ملم زئبق) في الأوردة التي في العنق، وإلا ستضمر بسهولة وهذا سيؤدي إلى زيادة المقاومة الوريدية وانخفاض تدفق الدم. إذا أصبح الوريد مصلبًا جدًا فإن الضغط الوريدي يصبح سالبًا أي أقل من الجوي)، ويحدث ذلك في التجويفات الداخلية للجمجمة في الوضع الرأسي وعند حدوث أي انفتاح بين الضغط الجوي وهذه التجويفات.

سادسا- الجهاز اللمفاوي:

يبدأ اللمف كبصيلات باطنية في المنطقة الخلالية تعرف بالشعيرات اللمفاوية أو النهاية اللمفاوية، وهي أكثر نفاذية من الشعيرات الدموية، حيث تسمح للبروتينات وحتى للخلايا أن تدخل إلى داخلها، يعرف السائل النسيجي الذي يوجد داخل الأوعية للمفاوية باللمف، حيث يذهب إلى أوعية كبيرة تدعى بالقنوات التجميعية والتي تحتوي على خلايا عضلية ناعمة في جدرانها. تغذي القنوات اللمفاوية الصاعدة الغدد اللمفاوية التي يتم تفريغها عن طريق القنوات النازلة، وفي النهاية يتم تفريغ السائل اللمفاوي في الأوردة المركزية عن طريق الأوعية اللمفاوية الرئيسية.

1- الوظائف اللمفاوية:

- كل 24 ساعة تعود مجموعة من السوائل المرشحة والبروتينات المعادلة لتلك الموجودة في بلازما الدم إلى الأوردة الدموية عن طريق الجهاز اللمفاوي، إن تَكَوُنْ السائل اللمفاوي عند مستوى النهايات اللمفاوية يمكن تسريعه عن طريق ضغط الأنسجة بواسطة الحركة الميكانيكية، وتعتمد عملية دفع هذا الملف في الأوعية اللمفاوي على الأنشطة الانقباضية التي تقوم بها تلك الأوعية، وهذا يؤدي إلى حدوث تدفق ذو اتجاه واحد بسبب تنظيم الصمامات اللمفاوية.

- يحتوي الجهاز اللمفاوي على وظائف مناعية مهمة حيث يتم نقل الأجسام الغريبة من الأنسجة المختلفة إلى العقد اللمفاوية ويتم تعرضها للخلايا اللمفاوية.

- إن الجهاز اللمفاوي في الأمعاء الدقيقة مهم جدًا في نقل الدهون الممتصة إلى الدورة الدموية.

الوحدة الثانية: الدم والفسيولوجية التابعة

يدور الدم على أجزاء الجسم بواسطة جهاز القلب والأوعية الدموية فينقل الأوكسجين والمواد الهامة في عملية الاستقلاب (الأيض) وإنتاج الطاقة الحيوية والهرمونات إلى خلايا الجسم، وفي نفس الوقت يقوم بإزالة ثاني أوكسيد الكربون والمواد الضارة، بلازما الدم وهو الذي يعتبر الجزء السائل في الدم، يقوم بعدة وظائف منها تدخله في التأثيرات الأسموزية، ونقل المواد المختلفة، والعمل كمؤشرات القيام بأعمال المناعة وفي التجلط، وتعد العناصر الخلوية للدم مسؤولة عن عمليات نقل الغاز، والمناعة وبعض مقومات الاتزان البدني.

حجم الدم:

إن معدل حجم الدم هو 70 مل/كلغ من وزن الجسم وهو ما يقارب 5 لترات في الإنسان البالغ، وهو يحتوي على الخلايا الحمراء والخلايا البيضاء، والصفائح الدموية (العناصر المكونة) في البلازما، إن حجم كريات الدم الحمراء يمثل 45% من حجم الكلي الدم بينما تمثل البلازما ما مقداره 55% من حجم الكلي للدم الدم أي ما يعادل 3 لترات عند الإنسان البالغ.

أولاً- مكونات الدم:

1- مكونات البلازما:

تحتوي بلازما الدم على نفس التركيبات الأيونية الموجودة في السوائل الأخرى خارج الخلية وتحتوي أيضًا على بروتينات مع الاختلاف في أهمية وظائفها:

- **الألبيومن:** يصنع بواسطة الكبد وهو يمثل أعلى تركيز، وله مساهمة كبيرة في الضغط الأسموزي لبلازما الدم، يعمل أيضًا كناقل بروتيني غير مختص لعدد من المواد الضعيفة الذوبان في الماء، مثل البايلوروبين.

– **الجلوبيولين:** ويتضمن بروتينات ناقلة مختصة مثل الترانسفيرين لنقل الحديد وعوامل تجلطن والجهاز المكمل، والمواد السابقة غير النشطة المكونة للهرمونات مثل الأنجوتنسنوجين. إن أحد أقسام الجلوبيولين يسمى جاما جلوبيولين أو الجلوبيولين المناعي، يعمل على شكل مضادات حيوية دورية مهمة في بعض الاستجابات المناعية.

2– خلايا الدم الحمراء:

إن لكريات الدم الحمراء عدة وظائف وأهمها قيامها بتوصيل الأوكسجين إلى أجزاء الجسم المختلفة، وهذا يعكس ويوضح خصائص الهيموجلوبين، الذي يكون داخل كريات الدم الحمراء منعًا لتسريبها خارج الشعيرات الدموية في نقل الأوكسجين. إن مركب الهيموجلوبين يتكون من 4 سلاسل بيبتدية (تركيب الجلوبين) كل واحدة منها مرتبطة بجزيء حددي واحد يحتوي على حلقة بورفين محيطة بذرة حديد، ويمثل الربط العكسي للأوكسجين مع هذه الأيونان 97% من السعة الطبيعة للأوكسجين المنقول في الدم، وبذلك يحدد تركيز الهيموجلوبين سعة نقل الأوكسجين، والقيم الطبيعية للهيموجلوبين هي ما بين 14–16 جم/دسلتر في الرجال وبين 12–14 جم/دسلتر في النساء ويعرف نقص الهيموجلوبين في الدم بفقر الدم.

أ– مراحل تطور كريات الدم الحمراء:

تبدأ خطوات إنتاج كريات الدم الحمراء من كيس المح الجنيني، ويستمر بعد ذلك في الكبد والطحال والعقد اللمفاوية في الجنين الناضج، وعند نهاية الحمل وبعد الولادة تصبح العملية فقط في نخاخ العظم وكلما تقلص العمر تقل مساهمات العظام الطويلة، وفي مرحلة البلوغ تصبح العظام الغشائية مقل الفقرات والضلوع والحوض داخلة في عملية إنتاج الكريات الدم الحمراء.

إن الخلايا الجذعية المتعددة القدرات لها القدرة على إنتاج أي نوع من خلايا الدم، وتنقسم وتتطور إلا خلايا جذعية ملتزمة خاصة في تكوين الخلايا الحمراء، وبعد ذلك يتم

انقسامها أكثر ونضجها، وتقوم بتصنيع الهيموجلوبين وصناعة الأرومة الحمراء السوية (normoblasts)، وتخرج المواد الموجودة في النواة إلى الخارج وتتم إعادة امتصاص الشبكة الأندوبلازمية (endoplasmic reticulum)، بحيث تفرز في البداية الكرية الشبكية وهي التي تحتوي على بقايا الشبكة الهيولية، وبعد ذلك تظهر الكرية الحمراء، وعادة هذان النوعان هما اللذان يظهران في الدورة الدموية، حيث أن الكرية الشبكية (reticulocyte) تمثل أقل من 2% من مجموع الخلايا، وهذه النسبة تزيد في تسريع في فترة تصنيع كريات الدم الحمراء السريعة عندما يدخل عدد كبير من الخلايا غير الناضجة داخل الدورة الدموية، أما الخلايا الناضجة فهي تكون على شكل قرص مقعر الجانبين بحيث يمكن أن يتغير في الشعيرات الدموية الضيقة.

هدم خلايا الدم الحمراء: تبدأ خلايا الدم الحمراء المسنة بالانحلال في الطحال، في متوسط عمر تقريبا 120 يومًا وتقوم الخلايا البالعة والقادمة من شبكة الخلايا البطانية (endothelium) المكونة لجدار الأوعية الدموية بتكسير الهيموجلوبين الناتج من انحلال خلاي الدم الحمراء، حيث يعود عنصر الحديد الناتج من الهيم والأحماض الأمنية ومن جزيئات الجلوبين إلى الدورة الدموية للاستفادة منه، أما حلقة البورفيرين فتتحول إلى البيلوروبين (bilirubin) وهي التي تدخل في عملية الاستقلاب في الكبد وتطرد مع مركب البايل (Bile).

تنظيم إنتاج كريات الدم الحمراء: تدار عملية تصنيع كريات الدم الحمراء عن طريق الكلية، وهي تقوم بإفراز هرمون يدعى الإرثروبويتين (erythropoietin) عندما تكون نسبة الأكسجين الواصل إلى الكلية أقل من الطبيعي، ويحصل هذا عندما يكون تركيز الهيموجلوبين في الدورة الدموية ناقصًا كما في حالة فقر الدم، نتيجة لذلك يقوم نخاع العظام بالاستجابة وزيادة إنتاج كريات الدم الحمراء ومن ثم يزداد تركيز الهيموجلوبين إلى حالته الطبيعية، وهناك عوامل أخرى تقوم بإنقاص الأوكسجين في الدم

والتي تحفز تصنيع كريات الدم الحمراء حتى لو كان تركيز الهيموجلوبين طبيعيًا وهذه الحالة تلاحظ في الأماكن المرتفعة حيث يقل ضغط الأوكسيجين في الدم والرئتين، وبعد عدة أسابيع في الأماكن المرتفعة يقوم هرمون الإرثروبويتين بتحفيز وزيادة تركيز الهيموجلوبين مع زيادة في الكسر الحجمي للكريات الدم الحمراء، لهذا يرغب الرياضيون في الزيادة سعة الأوكسيجين في الدم بالذهاب إلى الأماكن المرتفعة.

المتطلبات الغذائية لإنتاج كريات الدم الحمراء: إن إنتاج كريات الدم الحمراء والهيموغلوبين يتطلب كمية كافية من فيتامين ب$_{12}$ وحامض الفوليك بالإضافة غلى شوارد الحديد، والنقص في هذه العناصر قد يؤدي إلى حالة فقر الدم.

– **فيتامين ب$_{12}$ وحمض الفوليك:** يتأثر انقسام الخلية ونضوجها إذا قلت نسبة فيتامين ب$_{12}$، أو حمض الفوليك وهذا مهم جدًا في حالة تجدد خلايا نخاع العظام، إذ يصبح هناك نقص في عدد كريات الدم الحمراء مما يقلل تركيز الهيموجلوبين، وتكون كريات الدم الحمراء المصنعة في هذه الحالة كبيرة بكل غير طبيعي (macrocytes) وهذا يدعى بفقر الدم الكبير (anemia macrocytic)، وتوجد أيضا أساسات الكريات الحمراء غير الطبيعية، وهي التي تدعى بالأرومات الضخمة (megaloblastic) في نخاع العظام، وتدعى الحالة بفقر الدم الضخم الأرومات. إن نقص فيتامين ب$_{12}$ أو حمض الفوليك يمكن أن يتمك بطريقتين، فالطعم المتناول قد يفتقر إلى كميات كبيرة من هذه الفيتامينات، وقد يحصل نقص فيتامين ب$_{12}$ حتى مع تناول أغذية غنية به وذلك لسوء الامتصاص، إذ أن الخلايا الجدارية (partical cells) الموجودة في المعدة تفرز عاملاً جوهريًا (intrinsic factor) يرتبط بفيتامين فيتامين ب$_{12}$ ويسهل عملية امتصاصه في الأمعاء الدقيقة، بعد ذلك ينتقل فيتامين ب$_{12}$ إلى الكبد الذي يقوم بتخزينه احتياطيًا لمدة سنة أو سنتين.

– **الحديد:** إذا قل دعم الجسم بالحديد فإنه يقل تصنيع الهيموجلوبين أيضًا، وهذا يسبب فقر الدم حيث تكون كريات الدم الحمراء ذات هيموجلوبين أقل من الطبيعي

(ناقص الصباغ) وتصبح صغيرة الحجم، وتسمى الكريات الصغيرة (microcytic)، وفقر الدم الناتج عن نقص الحديد يمكن حدوثه في حالة كون استهلاك الحديد في الجسم أكثر من الحصول عليه، ويمتص الحديد عادة على شكل حديد ثنائي التكافؤ عنن طريق ترانسفرين الأمعاء ومستقبل الحديد– ترانسفرين، وتزداد نسبة امتصاص الحديد مع زيادة الاحتياج له، ويقوم الترانسفرين البلازما بنقل الحديد داخل الدورة الدموية والفائض يخزن على شكل فرتين (feritin) أو هيموسيدرين (hemosiderin) وخصوصًا في الكبد، والطحال ونخاع العظام.

مجموعات الدم: هناك مولدان للمضاد أو للتراص المستضدات (antigens) A وB وهما اللذان يعطيان أربع مجموعات مختلفة للدم، إن مجموعتي A وO هما الأكثر شيوعًا في العالم الغربي الأوروبي ويمثلان جميعا أكثر من 85% من نسبة السكان هناك، ولابد من ملاحظة أن بلازما الدم دائمًا تحتوي على أجسام مضادة (antibodies) (نوع IgM) ضد المستضدات (antigens) وهما لا توجدان تلقائيا على كريات الدم الحمراء سواءً أتم تحفيز الجسم بواسطة تعرضه إلى خلايا حماء عن طريق النقل أم لا، وهذه الحالة تكسر نظام المناعة المعروفة بحيث أن إفراز الأجسام المضادة يكون بكميات معينة عند تعرضها لمولد المضاد (antigen) ولكن قد يكون كل منا معرض لمولد A وB من مصدر آخر مثل البكتيريا الموجودة في الأمعاء ونصبح قادرين على تحمل هذه المولدات للمضادات الموجودة أيضًا على كريات الدم الحمراء، وأينما كانت آلية العمل فغنه يتم تحفيز الجهاز المناعي إذا ما تعرض الجسم إلى دم يحمل مجموعة خاطئة من O أو B أو A.

العامل الريسوسي: يكون الدم إما إيجابي العالم الريسوسي (Rh^+) أو سلبي العامل الريسوسي (Rh^-)، طبقًا للكريات الحمراء إن كانت تحمل مولدات المضاد Rh أو لا،

وهناك ثلاثة أنواع من مولدات المضاد Rh وهي C، D، وE ولكن D هو الاكثر شيوعًا، وتلعب العملية الوراثية دورًا غالبًا جدًا.

3- خلايا الدم البيضاء:

إن خلاي الدم البيضاء مهمة جدًا في العملية الحيوية حيث تقوم بتخليص الجسم من الأنسجة المتحطمة والمسنة، وهي من الاستجابات المناعية التي تحمينا من العدوى وتكاثر الخلية السرطانية، وعدد الخلايا البيضاء عادة ما بين أربعة مليار وعشرة مليار خلية في لتر.

هناك خمسة أنواع من خلايا الدم البيضاء وتنقسم إلى مجوعتين:

المجموعة الأولي: وتسمى هذه المجموعة بالخلايا العدلات المفصصة النوى غير المنظمة (polymorphonuclear granulocytes) وهي تحتوي على حبيبات في السيتوبلازما ذات كثافة عالية وتظم ثلاثة أنواع من الخلايا وهيك الخلايا المتعادلة (neutrophils)، والخلايا المستحمضة (eosinophils)، والخلايا القاعدية (basophils).

المجموعة الثانية: وتسمى هذه المجموعة بالخلايا وحيدة الخلية ذات ندرة المحببات (mononuclear granulocytes)، وهي لا تحتوي على حبيبات بل على أنوية كبيرة ومنتظمة وتظم نوعين من خلايا الدم البيضاء وهي خلايا الدم اللمفاوية (lymphocytes)، والوحيدات (monocytes).

ولكل نوع من هذه الخلايا خصائص أساسية نذكرها فيما يلي:

- **الخلايا المتعادلة:** وتمثل بين 60 و70% من خلايا الدم البيضاء في الدورة الدموية ، تختص هذه الخلايا بحركتها الدائمة وقدرتها على ابتلاع الأجسام الغريبة في الجسم عن طريق عملية البلعمة (phagocytosis) حيث تجذب الجسم الغريب إلى داخل

حويصلة تلتحم بالجسيمات الحالة (lysosome) داخل الخلية، ويتم هضم المواد العضوية عن طريق الأنزيمات الحالة بينما تبقى المواد غير العضوية في داخل السيتوبلازم.

– **الخلايا المستحمضة:** وتمثل من 1 إلى 4% من خلايا الدم البيضاء في الدورة الدموية وتصنف أيضًا من ضمن الخلايا البالعة وتدخل في تحطيم الطفيليات وقد تشارك في استجابة الحساسية.

– **الخلايا القاعدية:** وهي أقل من 0.5% من خلايا الدم البيضاء، وتقوم هذه الخلايا البالعة بإفراز الهيستامين والهيرين ويدخل أيضًا في استجابة الحساسية.

– **الخلايا اللمفاوية:** وهي الوحيدة من الخلايا الدم البيضاء التي تصنف من الخلايا غير البالعة وتمثل بين 25 و30% من مجموع خلايا الدم البيضاء في الدورة الدموية وتعتبر هذه الخلايا مركزية في بعض الدفاعات المناعية الخاصة في الجسم ويمكن تقسيمها إلى خلايا لمفاوية بائية (B) وتائية (T).

– **الخلايا الوحيدة:** وتمثل من 2 إلى 5% من خلايا الدم البيضاء وتحتوي على أعلى مقدرة للبلع من أي خلية أخرى في الجسم. وتعتبر خلايا البلاعم النسيجية (macrophage tissue) في الحقيقة خلايا وحيدات هاجرت إلى النسيج الخاص، إن الخلايا الوحيدة والخلايا البلاعم النسيجية تمثلان أساس النظام الشبكي البطاني.

النظام الشبكي البطاني: إن نظام البلع هذا مشابه لنظام خلاي البلاعم النسيجية، وخلايا البلاعم النسيجية دائمة التجوال من خلال الأنسجة الضامنة ولكن يبقى بعضها في بعض الأعضاء، وعندما يحصل لها تحفيز سوف تظل في عملية التجوال ولكن يحصل لها انجذاب كيميائي إلى منطقة العدوى أو المنطقة المصابة، وعادة يتم تجمع كثيف لهذه الخلايا في انسجة العقد اللمفاوية والطحال وأنسجة نخاع العظم، وكل من خلايا البلاعم الموجودة في الحويصلات الهوائية في الرئة، وخلاي البلاعم المسماة بخلايا كوبفر (kupffer) الموجودة في الكبد والخلايا الدبقية الصغيرة (microglial cells) الموجودة في

الأنسجة العصبية وهي التي تعتبر من النظام الشبكي البطانين جميعها تعمل مثلا الخلايا الوحيدات مفصصة النواة (monocytes).

إنتاج خلايا الدم البيضاء: تنتج الخلايا الدم البيضاء من الخلايا الجذعية المتعددة القدرات في النخاع العظمي والتي يحصل لها انقسام ونضوج لتعطي سلالتين من الخلايا الجذعية:

– **السلالة النقوية (myeloid line):** وتعطي هذه ثلاثة أنواع من الخلايا ذات الحبيبات بالإضافة إلى خلايا الوحيدات وخلايا بلاعم الأنسجة، وكل منهم له دور مهم في عملية البلع، وتقوم الخلايا من سلالة النقوية بإنتاج عدد من الكريات لابيض التي تدعى بالنتوءات وهي التي منها تنتج الصفائح الدموية.

– **السلالة اللمفاوية (lymphoid line):** وهذه تنتج الخلايا اللمفاوية من هذه الخلايا الجذعية، تنمو الخلايا البائية (B) وتنضج في نخاع العظم قبل ان يتم توزيعها إلى الأنسجة اللمفاوية، والعقد اللمفاوية والطحال، والغدة الثيموسية (thymus) ومجموعات خلايا تبرز في منطقة ما تحت الغشاء المخاطي في الأمعاء، أما أساسات الخلايا التائية اللمفاوية (T) فإنها تهاجر أولاً إلى الغدة الثيموسية حيث يتم نموها ونضوجها قبل إعادة توزيعها إلى العقد اللمفاوية، ويمكن للخلايا اللمفاوية أن تتكاثر وتنمو في العقد اللمفاوية ولها القدرة على الذهاب إلى الدورة الدموية والعودة مرة أخرى باستمرار.

4- الصفائح الدموية:

إن الصفائح الدموية عبارة عن جزيئات الخلية المحملة في الدم، وهي التي تحتوي على عضوات خلوية وأنزيمات ولكن لا تحتوي على مادة النواة، وتنتج الصفائح من النواءات (megakaryocytes) وهي خلايا تحتوي علة نواءات عديدة في نخاع العظ وتأتي من سلالة النقوية. إن عدد الصفائح الدموية الطبيعية في الدم هو من 15 مليار إلى 300 مليار صفيحة في لتر، دور هذه الصفائح هو المساعدة فيلا إيقاف النزيف أو

منعه، والعملية تدعى الإرقاء (haemostasis) وتتضمن عملية الإرقاء حدوث حالة تقلص لعضلات الأوعية الدموية وتكون السدادة الصفيحة والتجلط (coagulation).

– **تقلص عضلات الأوعية الدموية:** إن إصابة جدار الأوعية الدموية يؤدي إلى حدوث تقلص سريع في العضلات الناعمة الموجودة في الجدار، وهذا يساعد على تضييق المنطقة المصابة من الأوعية وتقليل سريان الدم فيها دون توقيف فقدان الدم.

– **السدادة الصفيحية:** تكون الصفائح الدمية في حالة دوران في الأوعية الدموية بشكل حر عند تعرضها إلى بروتينات الكولجين (collegen) من الأنسجة فإنها تصبح قابلة للالتصاق ويتم هذا التعرض إذا حصلت إصابة في تلك الأنسجة حيث تبدأ الصفائح في الالتصاق بجدار الأوعية وببعضها البعض في نفس الوقت، تبدأ الصفائح بإفراز عدد من المواد الكيميائية مثل الأدينوسين الثنائي الفوسفات وأيضًا منتجات حامض الأركدونك والتي تدعى بالثرومبوكسين A_2 (Thromboxane A_2)، وتزيد هذه العوامل من التصاق الصفائح، مما ينتج عنه الرغبة في تكوين أكبر سدادة صفيحية تستطيع إيقاف النزيف عن طريق سد الفتحة. عملية التصاق الصفائح في جدران الأوعية السليمة عادة تبطل عن طريق تأثير البروستسيكلين (prostacyclin)، وهو أحد مشتقات حامض الأركدونك الذي يفرز من خلايا جدار الأوعية (endothelium).

– **التخثر الدموي:** إن السدادة الصفيحية ليست آمنة لأنها تبنى بشكل مؤقت وتثبت في مكان بواسطة تكون جلطة من الفبرين (Fibrin)، ويتعمد التجلط أو تخثر الدم على عائلة من البروتينات تدعى عوامل التجلط، وكثير منها تصنع في الكبد بالاعتماد على تفاعلات فيتامين ك (K)، وهذه العوامل عادة ما توجد على شكل غير فاعل ولكن بمجرد أن يتم تحفيزها فإن كل عامل منها يحفز الآخر عن طريق عملية التكسير التحللي للبروتينات، وتستمر هذه العملية على طول سلسلة عوامل التجلط والتي تنتج في النهاية عملية تحول عامل ما قبل الثرومبين (Factor II) إلى الثرومبين الفاعل، بدوره يسرع

الثرومبين عملية تحويل مولد الفبرينوجين(Fibrinogen)(factor I) إلى الفبرين (Fibrin) أو أحادي الوحدة الذي يتحد بجديلة مركب فبرين آخر، وينتج عن هذه العملية تكون الجلطة التي تجذب خلاي الدم الحمراء وخلاي دموية أخرى تؤدي إلى بناء جسر في المنطقة المفتوحة من الجرح وتعزز وضع الصفائح هناك بعد مرور بعض الوقت، وتبدأ الجلطة في بالتقلص وتسحب اطراف المنطقة المصابة بعضها مع بعض وتعصر سوائل المصل(Serum) داخلها والذي السائل المكون بعد تكون الجلطة في بلازما الدم.

– **الطرق الداخلية والخارجية المحرضة للتجلط:** تنشط عملية التجلط عن طريق آليتين مختلفتين إحداهما داخلية والأخرى خارجية وبمجرد تعرض الدم للأسطح غير المعتادة أو غير الطبيعية، مثل بروتينات الكولجين في الأوعية الدموية المصابة، يتم التجلط بواسطة الطرق الداخلية، إن تجمع الصفائح وتكتلها يلعب دورًا كبيرًا لأنها تفرز عاملاً مساعدًا من الدهون المفسفرة (phospholipid) تسمى بالعامل الثالث (Factor 3). أما الطرق الخارجية للتجلط فتستحدث عن طريق اختلاط البلازما بمنتجات الأنسجة المصابة التي تدعى جميعًا بالثرمبوبلاستين النسيجي (Thromboplstin)، وعن طريق هذه الخطوة بيتم تجنب الخطوات الأولى في الطرق الداخلية لعملية التجلط، وعن تحفز العامل X (Factor X)، فإن كلاً من الطريقتين يغطيان الخطوة التي تكون قبل الثرومبين، وتتطلب عدة خطوات في كل من الطريقتين وجود الكالسيوم، وهذا يشرح كيف أن العوامل المهبطة للكالسيوم مثل السيتريت (citrate) لها دور فعال في عملية منع التجلط.

– **تحلل الفبرين وإزالة التجلط:** لا يمكن ترك عملية التجلط تستمر وإلا سوف تؤدي إلى انسداد الأوعية الدموية، لذلك يعمل عدد من المواد الطبيعية على شكل مضادات للتجلط، تحبط عملية تكون التجلط في الأوعية الدموية الطبيعية، وهناك آلية لإزالة التجلطات بعدما تتم عملية إصلاح الأنسجة المصابة، وهذه تعتمد على الأنزيم المحلل للبروتينات بلازمين (Plsmin) الذي يصنع من بروتين البلازما غير المفعل يدعى

مولد البلازمين (plasminogen) بعدما تحفز سلسلة التجلط، ويسرع البلازمين عملية تكسر الفبرين (Fibrin)، وتدعى العملية بتحلل الفبرين (Fibrinolysis)، وبعد ذلك تأتي الخلايا البالعة لإزالة مخلفات التجلط.

ثانيا- الاستجابات المناعية:

تصنف الأجهزة المناعية للجسم إلى غير خاصة أو غير محددة وفطرية وإلى خاصة أو محددة ومكتسبة، وهذا التقسم مفيد جدًا ولكن لابد من معرفة أن هنالك تداخل بينهما.

1- المناعة غير الخاصة والفطرية:

يعتمد هذا النظام على العلاقات الداخلية لآلية الدفاع التي تعمل ضد أي جسم غريب أو خلية شاذة، وهو يسمى بغير المحدد أو غير الخاص، ويدعى هذا النظام ايضًا بالفطري حيث لم تعتمد هذه الخلايا الدفاعية على تعرض سابق لجسم معين، وتتضمن الآليات المناعية غير الخاصة حواجز مادية طبيعية للعدوى، وللالتهابات وللتنشيط الكمالي، ولأنشطة الخلايا القاتلة الطبيعية.

- **الحواجز الميكانيكية والكيميائية ضد العدوى:** توفر الخلايا الظهارية (epithelia) المغطية للجلد والمبطنة لجدار الجهاز الهضمي والتناسلي والتنفسي حواجز ميكانيكية تساعد على التخلص من الجسيمات المدمرة، وهذه الآلية تدعم أيضًا بواسطة المخاط المفرز من جدار الجهاز التنفسي الذي يقوم بجذب ذرات الغبار والمواد الضارة ويساعد على طردها بواسطة عمل الخلايا الظاهرية المهدبة، وعلى حد سواء تعمل الإفرازات الكيميائية مثل الحامض المعدي أو المفرز في المهبل دورًا كبيرًا للدفاع ضد حدوث مستعمرات من الجسيمات الضارة على سطح الخلايا الظاهرية ويمنع حدوث العدوى البكتيرية في المعدة والمهبل.

– **عملية البلع واستجابات الالتهاب:** الالتهاب هو عبارة عن مجموعة استجابات خلوية ووعائية لوجود نسيج مصاب بأذى أو وجود عدوى وهذا يؤدي إلى تسريع عملية تحطيم العنصر الغريب الداخل للجسم وبلعه.

– **استجابات البلع في الالتهاب:** إن خلايا البلاعم النسيجية (tissue macrophage) في المنطقة المجاورة المصابة بالبكتيريا تكون متحركة ونشطة جدًا، إذ تعمل المواد الكيميائية المفرزة من المنطقة المصابة أو من الخلايا المصابة بالعدوى على جذب خلاي البلاعم إلى تلك المنطقة وهذه العملية تدعى بالانجذاب الكيميائي (chemotaxis)، ويتم إثارة خلايا البلاعم عن طريق هجرة الخلايا المتعادلة (neutrophil) والوحيدة (monocytes) إلى المنطقة المصابة وتلتصق هذه الخلايا بالخلايا المبطنة لجدار الأوعية الدموية (endothelial) ومن ثم تحاول المرور عبر شقوق صغيرة (leukocyte migration) بواسطة الحركة الأميبية (diapedesis)، وتمر هذه الخلايا البالعة من جدار الشعيرات الدموية إلى المنطقة المصابة بواسطة الجذب الكيميائي ومن ثم تقوم بإزالة حطام الأنسجة المصابة أو إزالة العدوى أو التخلص من المواد السامة، ويعد تجمع الخلايا المتعادلة وخلايا بلاعم الأنسجة في منطقة ما من الأنسجة علامة واضحة لوجود الالتهاب الحاد.

– **الاستجابات الوعائية في الالتهاب:** إن تجمع كريات الدم البيضاء في الأنسجة الملتهبة يتسارع بواسطة زيادة سرعة تدفق الدم الذي يتم نتيجة توسع الأوعية الدموية المحلية، وهذا يساعد على نقل كريات بيضاء أكثر إلى الشعيرات الدموية المجاورة للمنطقة المصابة التي بعد ذلك تنتقل إلى النسيج المصاب عبر الحركة الأميبية، وهذه التغيرات في الأوعية الدموية هي نتيجة لتأثير بعض المواد المفرزة من الأنسجة المصابة.

– **تأثير الالتهاب الموضعي والجهازي:** إن الاستجابات الناتجة من الالتهاب تؤدي إلى عدد من الخصائص التأثيرية على موقع الإصابة أو العدوى:

- وهي زيادة تدفق الدم تؤدي إلى احمرار المنطقة المصابة وزيادة درجة حرارتها.
- زيادة نفاذية الشعيرات الدموية يؤدي إلى تسرب السوائل إلى خارج الشعيرات وحدوث انتفاخ محلي وتتسرب أيضا بروتينات البلازما، ومن ضمنها عوامل التجلط، هذه العملية تكون حواجز طبيعية ضد العدوى.
- إن إفرازات الأنسجة المصابة تحفز مستقبلات الألم مما يسبب ألمًا.

2- المناعة المكتسبة أو الخاصة:

ترجع المناعة الخاصة في مفهومها إلى عدد من الآليات التي من خلالها تقل القابلية الحدوث عدوى بشكل كبير عن كطريق التعرض لجسم معين بعدما يتم التعرض له من قبل ولمرة واحدة، وهذا يتضح جليًا في العدوى مثل الحصبة والتهاب الغدة النكفية أو الحصبة الألمانية بحيث يكتسب جهاز المناعة مناعة ضد هذه الجسيمات المؤدية إلى تلك الأمراض ويحمي الجسم من الإصابة بنفس المرض إذا ما تعرض مرة أخرى لتلك الجسيمات، إن العدوى الإكلينيكية ليست ضرورية، بحيث تستخدم التطعيمات الميكروبية الميتة أو الضعيفة لتحفيز جهاز المناعة من غير حدوث اعتدال. وفي كلتا الحاتين التطعيمات والعدوى، تعد الحماية المكتسبة مخصصة جدًا، فعلى سبيل المثال إصابة الإنسان بالحصبة لا تقلل فرصة إصابته بأمراض أخرى مثل الحصبة الألمانية. وتعتمد المناعة الخاصة على قدرة جهاز المناعة على الاستجابة للجزيئات الغريبة التي تدعى بالمستضدات (antigens) ومن ثم تنشط آليات الدفاع وتستهدف تلك المستضدات وأشباهها.

وتعتمد الاستجابة المناعية الخاصة على الخلايا اللمفاوية، وتتم عن طريق المضادات الحيوية (الاستجابات الهرمونية) أو الخلايا، والمضادات الحيوية التي تسبب الاستجابات المناعية تعتمد على الخلايا اللمفاوية البائية (B) في حين أن الخلايا اللمفاوية التائية (T) مسؤولة عن الاستجابات المناعية المحدثة عن طريق الخلية.

– **بناء الجسم المضاد:** إن الأجسام المضادة هي من أحد أنواع البروتينات وتدعى بجامة الجلوبيولين (globulins gamma)، غن الوحدة التركيبية الأساسية للجسم المضاد عبارة عن سلسلتين ببتيديتين ثقيلتين وسلسلتين ببتيديتين خفيفتين مرتبطتين بواسطة جسور من الروابط الثنائية السلفايد، وهي التي تعطي الجسم المضاد شكل الحرف (Y)، كلب وحدة تحتوي على موضعين للارتباط بالمستضد، وتعتمد خصوصية الارتباط على تركيب الأحماض الأمينية المكونة للمستضد ونوعها، هذا الجزء من الأجسام المضادة يشكل الجزء المتغير حيث تُنتج العديد من المستضدات المختلفة طبقًا للاختلافات الناتجة في تركيب الأحماض الأمينية.

– **وظيفة الجسم المضاد:** ترتبط الأجسام المضادة بالمستضدات مما يعزز تحطمها من خلال مختلف الآليات.

- إن استهداف المناعة غير المحددة وتضخيمها هو الاستراتيجية الأساسية المدارة بواسطة المناعة المحدثة الأجسام المضادة لتوفير الحماية ضد ميكروبات معينة، والأجسام المضادة لفئة IgM وIgG هامة جدًا في تعزيز عملية تحطم وابتلاع البكتيريا.
- عملية الالتصاق هي عبارة عن تكتل كل من البكتيريا أو الخلايا الغريبة في شبكة كبيرة يربط بعضها بعضًا بروابط مكونة من الأجسام المضادة.
- إن عملية معادلة السموم وإحباط بعض الفيروسات قد تنتج عن إعاقة الجلوبيولين المناعي لمواقع نشطة بيولوجيا، هذه هي طريقة عمل مضادات المصل ضد لسعات الحشرات والثعابين.

– **تحفيز الخلايا اللمفاوية التائية:** تحفز هذه الخلايا عن طريق تعرضها للمستضدات الغريبة التي تتعرف عليها وتتصل بها عن طريق مستقبلات خاصة على أغشيتها، وإذا كانت هذه المستضدات ذات صلة بخلايا أخرى فإن الخلايا اللمفاوية تميز ذلك وتعتبر أن هذا المستضد طبيعي وذاتي، إن المناعة بواسطة الخلايا مهمة جدًا في

العدوى الفيروسية لأن هذه المستضدات الفيروسية الغريبة تظهر على الغشاء الخلوي للخلايا المصابة.

– **عمل الخلايا اللمفاوية التائية:** كما هو الحال في الخلايا اللمفاوية البائية، فإن إثارة الخلايا التائية يؤدي إلى تكاثرها ونضوجها، وهناك ثلاثة أنواع رئيسة من الخلايا التائية كل منها له وظيفة معينة:

- الخلايا التائية السامة وهي لاتي تقوم بتحليل الخلايا التي تحمل مستضدات حساسة لها.
- الخلايا التائية المساعدة والتي تكون حيوية في حالة المناعة بواسطة الخلايا أو بواسطة الأجسام المضادة ولكن ليس لها تأثيرات مباشرة على المستضدات الغريبة أو على الخلايا، وهذا النوع من الخلايا يحفز عن طريق خلايا بلاعم الأنسجة المستثارة بالمستضدات.
- الخلايا التائية الكاتبة هبط عمل الخلايا اللمفاوية، هذه الخلايا توفر آلية معينة للتحكم بالاستجابة المناعية حيث تقلل من خطر التدمير المناعي لخلايا الجسم الغريبة.

الوحدة الثالثة: فيسيولوجية الجهاز التنفسي

إن أهم إتزان بدني يكون الجهاز التنفسي مسؤول عنه هو المحافظة على عناصر الأوكسيجين وثاني أوكسيد الكربون وكذلك الأس الهيدروجيني (PH) في مستوياتها الطبيعية في الدم الشرياني، حيث يتم توزيع هذا الدم إلى الأنسجة النشطة استقلابيا (أيضيًا)، يتم التحكم بضغوط غازات الدم والتي تحدد تركيز الاوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في بلازما الدم وفي كريات الدم الحمراء عن طريق عملية تبادل الغازات بين الهواء في الحويصلات وبين الدم الرئوي.

تتم آليات التحكم بتنظيم الغازات في الشريان من خلال التغيرات في التنفس الرئوي والتي تغير منن مستويات ثاني أوكسيد الكربون والأوكسجين، وأخيرًا إن التنفس الخلوي يستخدم غاز الأوكسيجين لإنتاج الطاقة عن طريق أكسدة جزيئات الطعام وينتج ثاني أكسيد الكربون كأحد الفضلات ومجموع نسبة إنتاج الطالقة تدعى بمعدل الاستقلاب (metabolic rate).

أولا- آليات التهوية الرئوية:

إن التهوية الرئوية هي عبارة عن حركة الهواء من وإلى الرئتين خلال التنفس، إن تركيزات الغاز السنخي تبقى ثابتة عن المستوى المطلوب مع وجود التغيرات المستمرة بين الزفير، والذي يدفع الأوكسيجين المستنفذ وغاز ثاني أكسيد الكربون إلى الخارج، الشهيق الذي يقوم بتبديل تلك الغازات بالهواء الطبيعي، تعتمد عملية تدفق الغاز إلى داخل الرئتين على وجود مدروج الضغط والذي ينشأ من حركة الصدر والحجاب الحاجز.

1- التركيبات:

يدخل الهواء عن طريق الأنف ومن ثم ينسحب من خلال منطقة الأنف والبلعوم إلى الحنجرة، حيث يمر عبر المزمار قبل دخوله إلى القصبة لاهوائية، والتي تنقسم إلى قصبة يمنى وأخرى يسرى متجهتين إلى الرئتين، وتستمر هذه المنافذ الهوائية في التشعب، ويصغر قطرها كلما اتجهنا إلى داخل الرئة. تنقسم القصبة الهوائية والتي تحتوي على غضاريف في جدرانها إلى قصيبات (bronchioles) والتي لا تحتوي على غضاريف وبالتالي يحصل لها ضمور، وفي النهاية تنتهي هذه المنافذ الهوائية بالسنخيات، وهي أهم المناطق التي تتم بيها تبادل الغازات. إن القصبات والقصيبات تحتوي على عضلات ناعمة وهذه المنافذ مبطنة بخلايا إفرازية موجودة مع الخلايا الظهارية (epithelial cell) ذات الأهداب، والتي تقوم بوظائف حماية مهمة. تحتوي الأسناخ الهوائية (alveoli) على جدار رقيق مكون من الخلايا الظهارية وهي مغطاة من الداخل بطبقة ضيقة من السائل

السنخي ، يحتوي النسيج الضامن الرئوي على كميات كبيرة من الأنسجة المرنة والتي يمكن تمددها واستطالتها إلى مرحلة تزيد عن طولها عند الراحة في مستوى حجم الرئة الطبيعي مما ينتج عنه شد.

تقع الرئتان في داخل التجويف الصدري، وتغطي الجنبة الرئوية (الحشوية) (pulmonary pleura) السطح الخارجي للرئة، وتنفصل علن الجنبة الجدارية (parietal pleura) والتي تكون السطح الداخلي للتجويف الصدري بطبقة خفيفة من السائل الجنبوي، وتدعى هذه المنطقة أحيانًا بالفراغ الكامن، حيث تحتوي على سوائل وطبقتي الجنبة، واللتان تبقيا متصلتين ببعضهما البعض بشكل قوي، إن السطح الخارجي للرئة تبع حركات الحجاب الحاجز وكذلك الجدار الصدري حيث أن حجم الرئة يزيد وينقص مع تغيرات الحجم الصدري.

2- وظائف المنافذ الهوائية:

تقوم المنافذ الهوائية بثلاثة وظائف رئيسية وهي: قنوات لمرور الغاز، وحماية للرئتين من الأجسام الغريبة، وتعمل على تسخين وترطيب الهواء الداخل.

- **قنوات لمرور الغاز:** تعمل المنافذ الهوائية كقنوات توصل الأسناخ الهوائية بالجو الخارجي، يعتمد تدفق الغاز إلى داخل الرئة على مدروج الضغط بين الأسناخ الهوائية والجو الخارجي وكذلك مقاومة المنافذ الهوائية، تعمل عملية انقباض وانبساط العضلات الناعمة في القصبات الهوائية على تغير هذه المقاومة، ويتحكم الجهاز العصبي المستقل بهذه الآليات.

- **حماية الرئتين:** هناك عدة آليات تعمل على حماية الرئتين من دخول الأجسام الضارة، حيث تتم تصفية الهواء بشكل جزئي عن طريق الشعر الموجود في الأنف ولكن البكتيريا والأجسام الأخرى الموجودة في الجو الملوث فإنها تقع في فخ الطبقة المخاطية التي تغطي المنافذ الهوائية، إن الأهداب المتحركة الموجودة في القصبة الهوائية،

القصبات والقصيبات تعمل علة نقل السائل المخاطي إلى الأعلى باتجاه الحنجرة ومن ثم إلى البلعوم حيث يتم بلعه.

تعمل الحبال الصوتية الموجودة في الحنجرة والمسؤولة عن التحدث وإصدار الصوت، على حماية الرئتين من دخول الأطعمة عن طريق الغلق الانعكاسي للمزمار أثناء البلع، وفي حالة فشل هذه الآلية فإنه يتم تحفيز الانعكاس السعالي بواسطة أجسام كبيرة تحتك بالغشاء المخاطي للحبال الصوتية أو المنافذ الهوائية مما يحدث انفجار غازي طارد لتلك المواد الصلبة، وهذه آلية حيوية حيث أن انسداد المنافذ الهوائية الصغيرة يؤدي إلى ضمور ذلك الجزء من الرئة وتكون بؤرة من العدوى في تلك المنطقة.

– **تسخين وترطيب الغازات:** يتم تدفئة وترطيب الهواء أثناء عبوره من خلال المنافذ الهوائية، وبما أن الغازات مشبعة تمامًا ببخار الماء قبل أن تصل إلى الأسناخ الهوائية، فينتج عن ذلك ضغط لبخار الماء.

3– القوى العاملة في الرئة:

خلال التنفس الطبيعي هناك ثلاث قوى تؤثر على الرئتين، اثنتان منها تعملان على ضمور وتصغير حجم الرئتين، أما القوة الثالثة فتعمل على عكس القوتين السابقتين حيث تساعد على تمدد الرئتين.

– **النسيج المرن:** إن النسيج المرن الموجود في جدار الرئتين يتم استطالته في الحالات الطبيعية أثناء عملية التنفس مما ينتج شد في الجدار والذي يعمل على تقلص حجم الرئة وسحبها إلى الداخل باتجاه الحشو الرئوي.

– **الشد السطحي:** إن الشد السطحي الناتج من السائل الموجود في جدار الحويصلة الهوائية يعمل أيضًا على ضمور الرئة حيث يسحب جدار الرئة إلى الداخل بعيدًا عن الجدار الصدري.

– **ضغط غشاء الجنب السالب:** إن تأثيرات مرونة جدار الرئة وكذلك الشد السطحي عادةً يتم تضادها عن طريق الضغط التمددي الناتج عن الضغط السالب الموجود في منطقة الجنبة (intra pelural space)التي بين جدار الرئة والجدار الداخلي الصدري ويكون هذا الضغط أقل من الضغط الجوي، يتكون هذا الضغط نتيجة للشد الناتج عن تقلص عضلة الحجاب الحاجز وكذلك انسحاب الجدار الصدري للخارج باتجاه الجدار الجنبي. وبما أنه تم انسحاب طبقتي الجدار الصدري إلى الخارج فإنه يتكون ضغط سالب في السائل الجنبي، ونتيجة لذلك فإن الضغط في الحويصلة الهوائية، متصلة بالجو الخارجي بشكل مباشر عن طريق المنافذ الهوائية، يكون أعلى من الضغط في منطقة الجنبة، وبالتالي فإن المدروج في الضغط الانتفاخي (الضغط على جدار الرئة) يؤدي إلى تضخم الرئة وانتفاخها. وعند حدوث أي قطع للمنافذ الهوائية أو حدوث اختراق للجدار الصدري فإنه بيتم سحب الهواء من الرئة إلى منطقة الجنبة مما ينتج عنه ما يسمى بالأسترواح الصدري (pneumothorax) وهو وجود هواء في منطقة الجنبة (intrapleural cavity) وتحت هذه الحالات فإن الضغط الجنبي يرتفع حتى يصل صفرًا كالضغط الجوي أو ربما يصبح موجبًا مما يؤدي إلى ضمور الرئة.

4– فعالية إفرازات السطح والشد السطحي للحويصلات الهوائية (الأسناخ):

إن قوة الشد السطحي الناتج عن السائل الموجود في جدار الحويصلة الهوائية مهم جدًا في تحددي القوى اللازمة للمحافظة على الرئتين بأن تكونا في حالة الانتفاخ وعدم الضمور، أما ما يعرف بفعالية السطح (surfactant) فهي عبارة عن مادة شبيهة بالمواد المطهرة تفرز من خلايا ظاهرية خاصة مبطنة لجدار الحويصة الرئوية وتدعى بالخلايا

الحويصلية من النوع الثاني. تعمل هذه المادة على تقليل حدة الشد السطحي للحويصلة الهوائية مما يساعد على المحافظة عليها مفتوحة ومتمددة عند أقصى ضغط جنبي سالب ممكن أن يتم.

5- عضلات التنفس:

إن عملية الشهيق هي عملية فعلية نشطة حيث يزداد الحجم الصدري عن طريق تقلص العضلات وكذلك فإن قبة الحجاب الحاجز تنسحب إلى الأسفل عندما يحدث انقباض له مما يزيد من الارتفاع العمودي للتجويف الصدري، وهو يزداد أيضًا عند انقباض العضلات الخارجية بين الأضلاع، والتي تؤدي إلى رفع الأضلاع بشكل أفقي وتزيد من عرض التجويف الصدري من الأمام إلى الخلف، كذلك فإن العضلات المساعدة في العنق قد تستخدم في عملية الشهيق القصوى لرفع عظمة القص وأعلى ضلعين من القفص الصدري.

يتم تغذية العضلات التي بين الأضلاع عن طريق الأعصاب ما بين الأضلاع والتي تصدر من الحبل الشوكي الصدري، أما عضلة الحجاب الحاجز فهي تتغذى عن طريق العصب الحجابي والذي يصدر من الجذور العصبية رقم3، 4، و5 من الحبل الشوكي العنقي قبل أن ينزل من خلال التجويف الصدري إلى محطته الأخيرة.

إن عملية الزفير هي عملية مفعلة تعتمد على الارتداد المرن للرئتين المتمددتين عندما تعود عضلات الشهيق إلى حالة الراحة، إن تدفق الغاز إلى الخارج يتسارع بشكل فاعل عند انقباض عضلات البطن، والتي تزيد من الضغط في التجويف البطني وتدفع الحجاب الحاجز إلى الأعلى، وكذلك عن طريق انقباض العضلات الداخلية التي بين الأضلاع والتي تعمل على سحب القفص الصدري إلى الأسفل.

- **النشاط التنفسي:** ثلاث عناصر مساهمة في هذا العمل:

- مطاوعة الرئة وهي مهمة لتمدد الرئة ضد قوى الارتداد المرن وضد قوى الشد السطحي.
- مقاومة المنافذ الهوائية لتدفق الهواء لابد أن يُتغلب عليها، إن هذه المقاومة تكون عادةً بسيطة جدًا ولكن تزداد في بعض الحالات المرضية للجهاز التنفسي.
- المقاومة الناتجة عن تحرك أحد طبقات الرئة ضد بعض أغشية الجنَبَة أثناء تمدد الصدر.

يزداد النشاط التنفسي أثناء عملية الشهيق، حيث أثناء عملية التهوية القوية فإن زيادة مقاومة المنافذ الهوائية وزيادة مقاومة الأنسجة تؤثر على الطاقة اللازمة للاستهلاك حتى في أثناء الزفير وهذا ما يساعد على زيادة عملية التنفس أثناء التمارين الرياضية.

– **الانتشار الرئوي:** تنتشر الغازات الرئوية بنائية بين الأسناخ والشعيرات الدموية، هناك طبقة من سائل الأسناخ والتي توجد فوق الخلايا الظاهرية (epithelium) المبنية على الغشاء الأساسي (Basement membrane)، تلتحم هذه الطبقة مع الغشاء الأساسي للخلايا البطانية المكونة لجدار الأوعية الدموية بحيث لا تتجاوز سماكة هذا الحاجز 0.2 ميكرومتر، هذه المسافة البسيطة للانتشار وبوجود مساحة سطحية كبيرة للأسناخ تجعل من الرئتين أماكن فعالة لتبادل الغازات بحيث تحتوي على سعة عالية للانتشار، وعند زيادة سماكة حاجز الانتشار بسبب زيادة السائل السنخي في حالة الانتفاخ الرئوي أو أن منطقة الأسناخ قلت كما هو الحال في مرض ذات الرئة أو الانتفاخ (Emphysema) والذي يتضمن تدمير لبعض الأسناخ، فإن عملية تبادل الغازات تضعف نتيجة لنقص سعة الانتشار. وهذا يؤدي إلى مستويات للغاز غير طبيعية في الدم وذلك عندما تكون عملية التهوية كافية تمامًا.

6– نقل الغاز في الدم:

يتم نقل كلاً من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الرئتين والأنسجة عن طريق الدم، أما الآليات المسؤولة عن هذا النقل فسوف تناقش بشكل منفصل لكل من هذين الغازين.

أ- نقل الأكسجين في الدم:

يتم نقل الأكسجين في الجسم كما يلي:

- **نقل الأكسجين عن طريق الهيموجلوبين:** حيث يتم نقل معظم الأكسجين في الدم عن طريق الخلايا الحمراء وارتباطه بالهيموجلوبين، مع وجود كمية بسيطة مهملة ذائبة في بلازما الدم، يحتوي الجزيء الواحد من الهيموجلوبين على أربع سلاسل عديد الببتيد كل واحد منها مرتبطة بمجموعة الهيم الملونة والمكونة من حلقة البروتوبروفيرين المحيطة بعنصر الحديد ثنائي التكافؤ (Fe^{+2}) ويستطيع الأكسجين الارتباط بعنصر الهيم بشكل عكسي ليكون الهيموجلوبين المؤكسج، وبالتالي فإن جزيء واحد من الهيموجلوبين يستطيع نقل 4 جزيئات من الأكسجين.

هناك عوامل مختلفة قد تقلل من سعة نقل الأكسجين في الدم، أبسطها وأكثرها شيوعًا هو نقص تركيز الهيموجلوبين في الدم والذي يسمى بفقر الدم، بسب نقص العناصر الغذائية التي يتناولها الإنسان أو حالات فقدان الدم المزمنة. في بعض الحالات تقل قدرة الهيموجلوبين على نقل الأكسجين (نقص قوة ارتباط الأكسجين بالهيموجلوبين) بسبب مثل تحول عنصر الحدي من ثنائي التكافؤ إلى ثلاثي التكافؤ.

- **الهيموجلوبين الجنيني والميوجلوبين لدى الكبار:** إن قدرة جزيئات الهيموجلوبين على نقل الأكسجين لا تتأثر فقط بالعوامل الخارجية، مثل مستوى ثاني أكسيد الكربون، بل تتأثر ايضا بالناحية التركيبية لسلسلة عديد الببتيد المكون لها، وعلى سبيل المثال فإن هذه السلاسل تختلف في التركيب عند الجنين منها عند الكبار مما يجعلها ذات ارتباط أكبر عند الأجنة بالأكسجين.

ب- نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم:

يتم نقل ثاني أكسيد الكربون بثلاث أشكال في الدم: كشكل بيكاربونيت، وفي مجموعات الكربامونيوم، وبشكل ذائب كغاز حر.

- نقل ثاني أكسيد الكربون على شكل بيكاربونيت بين 60% إلى 70% من مجموع كميات ثاني أكسيد الكربون، ينتقل الغاز غلى خلايا الدم الحمراء ويتفاعل مع الماء مكونًا حمض الكربونات، ويتم تفعيل هذا التفاعل بوجود أنزيم كربونيك أنهيدريز.
- نقل ثاني أكسيد الكربون بشكل مجموعات كربامونيوم حيث تتكون هذه المجموعة بواسطة التفاعل بين ثاني أكسيد الكربون والأحماض الأمنية الموجودة في البيبتيد والبروتينات يتكون بنسبة تقريبا بين 20% و30% من غاز ثاني أكسيد الكربون في الدورة الدموية.
- نقل ثاني أكسيد الكربون على شكل ذائب وهذه الطريقة تمثل فقط 10% من مجموع غاز ثاني أكسيد الكربون المنقول.

7- تنظيم عملية التنفس:

بما أن نسبة أخذ الأكسجين وطرد ثاني أوكسيد الكربون بواسطة خلايا الجسم تختلف بشكل كبير مع تغير متطلبات العملية الاستقلابية (الميتابوليزمية)، فإن عملية التنفس لابد أن تكون تحت التحكم وذلك لتحافظ على المستوى المنتسب من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون والهيدروجين في تلك الأنسجة، وهذا يعتمد على عملية تنظيم التهوية من خلال التداخل بين آليات التحكم الكيميائي والعصبي وبذلك فإن متوسط ضغوط الغازات في الأسناخ يبقى ثابتًا، وبما أن الدم الرئوي يتوازن مع حالات الأسناخ قبل دخول في الدورة الدموية الجاهزية، فإن الغازات الدم الشرياني الجهازي يمكن التحكم بها عن طريق التغيرات في التهوية.

– **التحكم العصبي من مركز التنفس في المخ:** بالرغم من التحكم بالعملية التنفسية يكون بشكل واعٍ إلا أن تنظيم هذه العملية يكون عبر الآليات العصبية المستقلة. يكون التنفس بشكل منتظم ودوري، حيث أن الشهيق يتبادل مع الزفير ويعتمد هذا النشاط النظمي على نشاط الأعصاب من منطقة جذع الدماغ، إن الأعصاب التي تقوم بتحفيز عضلات الشهيق والزفير توجد في منطقة النخاع المستطيل، ولكن لا تتأثر بمراكز الخرى توجد في منطقة جسر المخيخ والتي تعمل على تصحيح نشاط تلك الأعصاب وبالتالي تغير نمط العملية التنفسية.

إن أعصاب الشهيق التنفسي في النخاع المستطيل تظهر تحفيز منظم تلقائي، نشاط نظمي من كمونات الفعل، تقوم هذه الأعصاب بتحفيز الأعصاب الحركية الخارجة من الحبل الشوكي إلى عضلة الحجاب الحاجز والعضلات الخارجية ما بين الأضلاع مما تؤدي إلى حدوث انقباضات في عضلات الشهيق، وفي فترات توقف نشاط أعصاب الشهيق فإن عضلات الشهيق تدخل في مرحلة الاسترخاء ويتم الزفير بشكل مُنْفَعل وفي مرحلة التنفس الهادئ يلعب مركز الشهيق دور كبيرًا في تحفيز عملية التهوية.

تكون الأعصاب التنفسية الزفيرية في النخاع المستطيل هادئة في الحالات الطبيعية وتصبح نشطة في الفترات التي تزيد فيها العملية التنفسية أو في حالات الزفير الفعّال، عندها تظهر كميات كبيرة من أنشطة الأعصاب الزفيرية والتي تكون متزامنة مع هدوء في نشاطك الأعصاب الشهيقية، وهذا يؤدي إلى تحفيز اعصاب حركية تعمل على انقباض العضلات البطنية والعضلات الداخلية التي بين الأعصاب.

إن الخلايا التنفسية في منطقة جسر المخيخ ليست أساسية في عملية التنفس ولكن تعمل على تعديل نمط التنفس، إن تحفيز المركز النظم للتنفس يؤدي إلى تهبيط الأعصاب الشهيقية، ومن ثم تقليص فترة الشهيق، وتدمير منطقة تنظيم التنفس، بواسطة

الضغط، يؤدي إلى توقف التنفس حيث يكون هناك مرحلة شهيق طويل يعقبها مرحلة زفير قصيرة.

– **العوامل الكيميائية التي تعدل نشاط مركز التنفس:** يتم تنظيم نمط التحفيز التلقائي في الأعصاب التنفسية في النخاخ المستطيل عن طريق عدد من العوامل الكيميائية التنفسية، وتعتبر العامل السائد في عملية التهوية.

– **المستقبلات الكيميائية:** إن التغيرات في مستوى الهيدروجين والأوكسجين وثاني أكسيد الكربون في الدم الشرياني والتي تقود إلى تغيرات في التنفس، يتم ملاحظتها عن طريق مستقبلات كيميائية التي تنظم عملية التنفس من خلال اتصالها بمراكز التنفس التي في المخ، وتنقسم هذه المستقبلات إلى مجموعتين أساسيتين وهما:

- **المستقبلات الكيميائية المركزية:** وتوجد في منطقة الجهاز العصبي المركزي بالقرب من مركز التنفس الذي في النخاع.
- **المستقبلات المحيطية:** وتوجد في الأجسام السباتية بالقرب من منطقة انقسام الشرايين السباتية الرئيسة.

– **العوامل الأخرى التي تتحكم في التنفس:** بالرغم من أن غازات الدم الشرياني تعتبر العامل الأول الذي يتحكم بعملية التنفس، إلا أن عددًا من العوامل الأخرى تؤثر أيضًا على التنفس ولابد من ذكرها.

- **منعكس هيرنج – بروير (Hering – Breuer Reflex):** والذي يعتمد على مستقبلات التمدد الموجودة في الرئتين حيث تقوم بإرسال إشارات تثبيطية إلى مركز التنفس في النخاع عن طريق العصب المبهم وهذا يمنع الزيادة في نفخ الرئتين وهو مهم جدًا في حالة الحجم المتبدل العالي وليس له دور في تنظيم التنفس الهادئ.

- **التحكم الإرادي في عضلات التنفس:** وذلك بواسطة القشرة الحركية والذي قد يهيمن على مركز التنفس النخاعي، وهذا يساعد علة زيادة سرعة التنفس أو حبس التنفس إراديًا.

- **مركز المحرك الوعائي:** إن الزيادة في نشاط هذا المركز مسؤولة عن التعديلات في الجهاز القلبي الوعائي عندما يقل ضغط الدم، ويعمل أيضا على تحفيز العملية التنفسية، وهذه تشرح حالة زيادة التنفس المعروفة بمعلق الهواء والتي تحدث عند مرضى الصدمات الجراحية.

ثانيا– التنفس الخلوي وتبادل الطاقة:

إن الوظيفة الأولية لجهاز القلب والأوعية الدموية والجهاز التنفسي هي توفير الأكسجين وجزيئات الطعام للخلايا المختلفة في الجسم، وتستخدم الخلايا تلك العناصر لإنتاج مركب الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، والذي يمثل المصدر المباشر لمعظم الخلايا النشطة عن طريق تفاعلات الأكسدة والتي ينتج عنها جزيئات الماء وثاني أكسيد الكربون، وهذا يمثل العملية التنفسية على مستوى الخلية، ووظيفة الجهاز التنفسي الحقيقي هو امتصاص الأكسجين وطرد ثاني أكسيد الكربون بنسب مناسبة للمحافظة على مستوى تلك العناصر في الدم الشرياني حتى تتم عملية تبادل الغازات على مستوى الأنسجة بالشكل المطلوب. وهذه تتأثر بكمية الطاقة المتوفرة في الأنسجة، أي بمستوى عملية الأيض (الاستقلاب).

إن الأيض (الميتابوليزم) هو مصطلح عام يستخدم لتوضيح كل التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تحدث في الجسم، وهذه العملية تنقسم إلى قسمين: العملية البنائية (Anabolic) والتي تستخدم الطاقة لإنتاج مركب من الجزيئات من وحدات صغيرة (Anabolism)، والعملية التقويضية أو الهدم والتي تقوم بتكسير الجزيئات إلى أجزاء أصغر لإنتاج الطاقة (Catabolism).

1- الغذاء كمصدر للطاقة:

أحد أهم وظائف الغذاء منح الجسم مصدرًا خارجيًا للطاقة، إن التراكيب الكيميائية للغذاء تجعله يصنف إلى ثلاث مجموعات أساسية، سكريات، دهون وبروتينات، يمكن تحديد مجموعة الطاقة التي يتم توفرها من عملية الأكسدة الكاملة لأي نوع من أنواع الغذاء من حرق (أكسدة كاملة) كمية معلومة ومن ثم قياس الحرارة الناتجة في وعاء مقياس السُعرات الحرارية، وضحت مثل هذه القياسات أن الدهون أغنى المصادر الغذائية بالطاقة، حيث قيمة السُعر الناتج من الدهون أكثر من ضعف الذي يوجد في السكريات. إن الوحدة العالمية لقياس الطاقة هي الجول والكن الكلوري (السعر الحراري) له أيضًا استعلامات في مرضى السكري، وفي الحقيقة إن مقياس استهلاك الطاقة البشرية يعني كيلوجول أو كيلوكلوري أكثر نفعًا.

2- فعالية نقل الطاقة:

إن الطاقة الحقيقية التي تتوفر لأنشطة الخلية بواسطة أكسدة الغذاء في الجسم اقل من قيمة الكلوري المناسب، على سبيل المثال، فإن الأكسدة الأيضية للبروتينات غير كاملة مما تقلل نظريًا الطاقة المتوفرة، والأهم من ذلك فإن تبادل خطوات تبادل الطاقة على مستوى الخلايا ليست فعالة مائة بالمائة ولذلك في أقل من 50% من الطاقة المتوفرة من اكسدة الجلوكوز تتحول أشكال مستخدمة كيميائية على شكل ATP داخل الخلية، وتتم خسائر أخرى في عملية نقل الطاقة بين ATP وجزيئات أخرى مثل البروتينات المساهمة في انقباض الخلايا العضلية، ولذلك فإن الفعالية الميكانيكية النهائية تكون فقط بين 25% و30% تحت الظروف المثالية، أما الطاقة المتبقية أو المفقودة فتظهر كحرارة والتي لها اهمية في المحافظة على حرارة الجسم.

3- مخازن الطاقة في الجسم:

عندما يتم امتصاص جزيئات الغذاء من الجهاز الهضمي فهو إما يتأيض لإنتاج الطاقة أو يخزن لاستخدامات أخرى في المستقبل، أهم مخزون من الطاقة الناتجة من السكريات يكون على شكل جلاكوجين (Glycogen) عديد الجلوكوز، والذي يركز بشكل خاص في العضلات الهيكلية والكبد، ويتم تكسير مركب الجلاكوجين للمحافظة على مستوى الجلوكوز في الدم ولكن ينفذ مخزون الجسم من هذا المركب بعد 12ساعة من الجوع. أما الدهون فهي تعتبر مخزو طويل المدى، حيث يتم تكسير ثلاثي الجلسريد (Triglycerides) إلى جلسرول، والذي يمكن تصنيع الجلوكوز والأحماض الدهنية منه، والتي يتم أكسدتها لإنتاج الطاقة. إن الأحماض الأمنية وبعض البروتينات يمكن أن تستخدم كمصدر للطاقة ولكن معظم بروتينات الجسم لها أدوار مهمة بنائية ووظيفية، ويتم توفيرها وتجنيبها عن عملية الهدم (Catabolism) حتى يتم استنفاذ مخزون الدهون في الجسم.

4- التبادل الخلوي للطاقة:

يتم أكسدة الجلوكوز خلال عملية الأيض الهوائية بشكل كامل طبقًا لمقياس السعرات الحرارية، ففي داخل الجسم يتم تقسيم هذا التفاعل إلى سلسلة من الخطوات مما يجعل إنتاج الطاقة يكون على مراحل بدلاً من أن يكون دفعة واحدة، لا يتم التزاوج بشكل مباشر بين إنتاج الطاقة واستخدامها في الخلية ولكن يتم تكون روابط الفوسفات ذات الطاقة العالية، مما ينتج مركب ATP عن طريق تزاوج مجموعات الفوسفات الغير عضوية (P_1) مع الأدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP).

هذا التفاعل عكسي حيث يتم تكسير مركب ATP إلى ADP وP_1 بواسطة نظام أنزيم الـATPase في الخلية، ومن ثم فإن الطاقة الكيميائية في رابطة الفوسفات يتم إطلاقها لاستخدامها في عمليات استهلاك الطاقة، مثل عملية انتقال الشوارد ضد مدروج التركيز، أو الانقباض الخلوي أو تصنيع المركبات.

5- الأيض الهوائي واللاهوائي:

حوالي 95% من عملية تأيض السكريات تتم هوائيًا، بمعنى أن الجلوكوز يتأكسج لينتج Co2 وماء، وهذه التفاعلات تتم بشكل أساسي في دورة كربس (Krebs cycle) حيث تقترن هذه التفاعلات مع عملية إنتاج ATP في الميتوكندريا في عملية تدعى بالأكسدة المفسفرة (Oxidative phosphorylation)، لا يستطيع الجلوكوز دخول دورة كربس مباشرة ولكن لابد أن يتحول إلى بيروفيت (Pyruvate) من خلال سلسلة من التفاعلات تدعى بتحلل السكر (Glycolysis). إن عملية تحلل السكر تحتاج إلى الأوكسجين وتنتج في نفس الوقت ATP، وبالتالي فإن هذا النوع من التفاعلات يستخدم لإنتاج ما تحتاجه الخلايا من الطاقة تحت الظروف اللاهوائية، أما البروفيت(Pyruvate) فيتم تحويله غلى حمض اللاكتيت (Lactic Acid) والذي يحول فيما بعد إلى جلوكوز في الكبد من خلال تفاعلات تستهلك الأكسجين، ولهذا السبب فإنه غالبًا ما يقال إن العمليات الاستقلابية (الأيضية)، اللاهوائية تؤدي إلى حالة من العوز الأكسجيني والتي لابد أن تعوض فيما بعد.

إن المجموع الكلي للطاقة التي يمكن إنتاجها من عملية السكر اللاهوائي هي مركبين منATP من كل جزيء من الجلوكوز، تمثل نسبة بسيطة من تلك التي يمكن أن تنتجها العملية الاستقلابية الهوائية (38 ATP لكل جزيء من الجلوكوز)، ولكن تظل العملية اللاهوائية مهمة خصوصًا في حالات نقص دعم الأكسجين. إن القدرة والسعة لاستخدام العملية اللاهوائية تختلف من خلية إلى أخرى، فتعتمد خلايا الدم الحمراء تمامًا على عملية تكسر الجلوكوز، وبالتالي فهي توفر الأكسجين الذي تقوم بنقله، بينما العملية اللاهوائية التي ATP تنتج دائمًا تعزز العمل الناتج من العضلات الهيكلية خلال التمارين الثقيلة. أما خلايا القلب والمخ فتعتمد تمامًا على العملية الاستقلابية الهوائية فبالتالي

النقص في الأكسجين يؤدي إلى فقدان وظيفة كلاً من هذين العضوين في خلال ثواني مما ينتج عنه ضرر عكسي في خلال دقائق.

- **العوامل التي تؤثر على عملية الأيض:** تتأثر العملية الأيضية (الاستقلابية) بعدة عوامل منها:

- **التمارين:** ولها تأثير كبير على نسبة الأيض، حيث ترفعها إلى 50 ضعف في فترات قصيرة.
- **استهلاك الغذاء:** تزيد نسبة الأيض مباشرة عقب تناول وجبة الطعام خاصة التي تحتوي على كميات كبيرة منم البروتينات.
- **درجة حرارة البيئة:** عندما تنخفض تسبب الرجف والارتعاش وعندما ترتفع.
- **الضغط العصبي:** القلق والخوف، نتيجة تحفيز الجهاز العصبي الودي.
- **النوم:** حيث أن العملية الاستقلابية تنخفض عند النوم
- **المناخ:** تنخفض نسبة الأيض في الأشخاص الذين يتأقلمون مع المناخ الدافئ.

الوحدة الرابعة: فسيولوجيا الجهاز الهضمي.

أهم وظائف القناة الهضمية هي توفير التغذية المطلوبة للجسم، وهذا يتضمن دفع الغذاء خلال أعضاء القناة الهضمية، هضم الغذاء هو تكسير جزيئات الغذاء المعقدة والطويلة إلى جزيئات بسيطة وامتصاص الناتج عن الهضم إلى الدم. تقوم العصارات المختلفة التي تفرز بشكل خارجي من الغدد القناوية بالمشاركة في عملية الهضم والامتصاص، حيث يلعب الكبد دورًا هامًا في عمليات الأيض للمواد الممتصة.

أولا- الغذاء والشهية:

ويشمل تعديد المتطلبات الأساسية للغذاء الصحي والآلية المسؤولة عن التحكم بالوزن.

1- المتطلبات الغذائية:

من الصعب تعريف المتطلبات الغذائية لأنها تختلف من شخص إلى آخر، تستخدم عادةً المتطلبات الغذائية بشكل يومي والتي تلائم معظم الناس. فلابد أن يوفر الغذاء الطاقة اللازمة للعمليات الاستقلابية في الجسم (عملية الأيض) وكذلك يوفر الأحماض الأمنية اللزمة للمحافظة على بناء ووظيفة البروتينات، تُستخلص الطاقة من الكربوهيدرات، الدهون والبروتينات، ولكن بعض تلك الأحماض الأمنية ليس بالإمكان تصنيعها في الجسم فهي تعتبر أحماض أمنية أساسية (Essential Amino Acid) لابد من توفرها من هضم البروتينات، فبالتالي يتم تحديد المتطلبات الغذائية الأساسية طبقًا للاحتياجات للطاقة والبروتين في الجسم. وقيمة الطاقة تتأثر بعوامل كثيرة:

- زيادة النشاط الحركي يطلب طاقة أكبر.
- الحمل والرضاعة يزيد من الحاجة للطاقة والبروتين عند النساء.
- عمر الإنسان يعتبر عامل مهم، حيث إن المتطلبات الغذائية تزيد من مرحلة الولادة إلى سن البلوغ المبكر، وعند تجاهل تأثير الزيادة في الحجم والتي توضح عن طريق احتياجات الطاقة بالميقا جول لكل كيلوغرام (MJ/Kg) من حجم الجسم، فإن القيم تنخفض على طول الحياة من مرحلة الولادة إلى ما بعدها.
- للحالة المرضية تأثير بالغ على احتياجات الطاقة على سبيل المثال زيادة نشاط الغدة الدرقية (Hyperthyroidism) تزيد من العملية الاستقلابية.

قد تحدد كمية الفيتامينات والمعادن المطلوبة ولكن بأقل دقة من الحاجة إلى الطاقة، إن المتطلبات الغذائية من حمض الفوليك وفيتامين ب$_{12}$، وكذلك معدن الحديد

لها اهتمام سريري خاص حيث إن النقص في هذه الفيتامينات شائع نسبيًا وقد يؤدي إلى نقص في تصنيع الهيموجلوبين، مثل فقر الدم.

1- التحكم بالأكل:

إن استمرارية النمو خلال مرحلتي الطفولة والمراهقة يبقي وزن الجسم ثابتًا خلال سنوات مرحلة البلوغ، هذا الاستقرار يتم عن طريق التناسب بين الطاقة المأخوذة والطاقة المستخدمة، إذا كان الغذاء الذي ناكله يحتوي على طاقة أكثر مما نحتاج تُخزن في الغالب على شكل دهون، وبالتالي يزيد الوزن. ولكي نحافظ على وزون ثابت للجسم، لابد أن نتحكم بكمية الغذاء الذي نتناوله، والذي يتم تنظيمه بواسطة مركز الجوع ومركز الشبع في منطقة تحت المهاد (Hypothalamus)، حيث بعد تناول وجبة الطعام فإن تمدد المعدة وزيادة مستوى المواد الغذائية في الدورة الدموية يحفزان مركز الشبع مما يهبط الرغبة في تناول الغذاء، بينما الإحساس بالجوع يزداد عندما تتضاءل تلك المحفزات. إن تخزين الدهون يعمل على إفراز هرمون بروتيني يدعى لبتين (Leptin) والذي يقوم بالتحكم في الوطاء (منطقة تحت المهاد) لإحباط عملية تناول الغذاء، بمعنى أنه يعمل على نظام استرجاعي لتنظيم كمية الدهون في الجسم، كذلك فإن العوامل العاطفية تؤثر على مراكز الوطاء (منطقة تحت المهاد) مثل القلق والذي يزيد أو ينقص الشهية للطعام، واضطرابات الأكل مثل فقدان الشهية (Anorexia) العصبية أو المرضية والتي قد تعكس اضطرابات في التحكم بأنشطة الجهاز العصبي.

ثانيا- تركيب الجهاز الهضمي:

لابد أن يتم دفع الطعام من خلال أعضاء الجهاز الهضمي من الفم غلى فتحة الشرج، ويُدعى الوقت اللازم لحدوث هذه العملية بالوقت الانتقالي وهذه المدة تختلف حس نوعية الطعام. إن عملية دفع المحتوى الهضمي داخل الجهاز الهضمي تعتمد على النشاط الانقباضي للعضلات الناعمة في الجدار الهضمي، والذي يتكون منت طبقتين

إحداهما داخلية دائرية (Circular) والأخرى خارجية طولية (Longitudinal)، إن عملية إزالة الاستقطاب التلقائي للعضلة (التوتر الكهربائي التلقائي) أو الموجة البطيئة، تؤدي إلى إنتاج موجات كمون الفعل، وهي بدروها تهيج حدوث الانقباض التلقائي والذي يمكن التغير والتعديل فيه عن طريق نشاط الأعصاب، والهرمونات وكذلك العوامل الموضعية مثل المواد الكيميائية والشد الميكانيكي، إن التحكم العصبي قد يكون خارجيًا بواسطة الأعصاب المستقلة للجهاز العصبي أو داخليًا بواسطة أعصاب داخلية من شبكة عصبية بين العضلات الدائرية والمستطيلة (Myenteric plexus) وشبكة عصبية أخرى في الجدار الهضمي تسمى ما تحت الطبقة المخاطية (Submucosal).

1- الفم والمريء:

إن عملية المضغ عبارة عن نشاط غرادي يتم عن طريق حركة العضلات الهيكلية في الفم ولافكن ومن تأثيراتها:

- تقلل من خطر الغص عن طريق تكسير أحجام الأكل الكبيرة.
- خلط الطعام باللعاب والمخاط داخل الفم لإعطائه طبقة لتزليقه قبل عملية البلع.
- تقليل حجم الطعام مما يساعد على خلطه وهضمه في داخل المعدة والأمعاء.

بمجرد أن تتم عملية المضغ، يتم تحريك اللقمة باتجاه الخلف بشكل إرادي بواسطة اللسان حتى يقوم الضغط على جدار البلعوم بتحفيز عملية منعكس البلع عندها لا يمكن توقيف عملية البلع حيث يتم التحكم عن طريق مركز البلع في النخاع المستطيل، كل الأحداث الناتجة بعد ذلك تتضمن الأعصاب الجسدية التي تغذي العضلات المخططة والأعصاب نظيره الودية المغذية للعضلات الناعمة في منتصف وأسفل المريء. إن هذه الأعصاب الخارجية تعمل على تحفيز موجة من الانقباضات في المريء ى(موجة

تمعجية) والتي تحمل اللقمة باتجاه المعدة، وفي نفس الوقت تعمل الإشارات العصبية على ارتخاء الصمام العلوي والسفلي للمريء مما يسمح للقمة بالانتقال إلى المعدة.

وأثناء عملية البلع يتم حماية الجهاز التنفسي عن طريق لسام المزمار حيث يعمل على إزاحة الطعام عن فتحة القصبة الهوائية، وفي نفس الوقت فإن حركة القصبة الهوائية إلى الأعلى وانقباض فتحة لسان المزمار كلاهما يحميان الجهاز التنفسي من انتقال الطعام إليه.

في الفترة بين تناول الوجبات فإن الصمام السفلي في المريء يحميه من التخريب الذي يمكن أن ينتج بسبب دخول أحماض المعدة، ويتم مساعدة ذلك عن طريق الزاوية الحادة بين المريء والمعدة المكونة لصمام إضافي متحرك.

2- المعدة:

من الناحية الميكانيكية للمعدة وظيفتين وهما:

- تعمل كمخزن للطعام أثناء تناول الوجبات حيث يساعدها على ذلك تأثيرات الجهاز العصبي نظير الودي والذي يعمل على ارتخاء عضلات المعدة أثناء عملية البلع (الاستقبال الارتخائي Receptive relaxations).

- تعمل أيضًا كحجرة للخلط، والتي تخض الطعام إلى أن يصبح مادة لينة شبه سائلة وبعد ذلك يتم توزيعه إلى الاثني عشر بأحجام صغيرة في الفترة بعد الانتهاء من تناول الطعام.

تتكون الحركة الميكانيكية للمعدة من موجات تمعجية تصدر من عضلات المعدة بمعدل ثلاث موجات في الدقيقة، وتتوزع من منطقة جسم المعدة إلى منطقة تجويف المعدة، حيث تتم أقوى الانقباضات العضلية، وكلما وصلت موجات الانقباضات إلى المنطقة التي بين المعدة والاثنا عشر والتي تعرف ببوابة المعدة (Pylorus) أو الصمام

البوابي (Pyloric Sphincter) ينغلق لمنع التدفق الزائد لأجزاء الطعام إلى الأمعاء الدقيقة. وبالتالي كل موجة من الانقباضات تعمل على دفع جزء من الطعام إلى الاثني عشر، ولكن الجزء الأكبر من ذلك الطعام يرجع مرة أخرى إلى جسم المعدة لزيادة عملية الخلط.

تنظيم الحركة الهضمية للمعدة: هناك عوامل تنظيمية تؤثر على قوة الانقباضة المعوية أكثر من عددها، إن تلك العوامل الت تعمل على زيادة قوة الانقباضة تساعد أيضًا على تسارع عملية تفريغ المعدة. اثناء تناول الوجبة الغذائية يتم تحفيز انقباض العضلات عن طريق التمدد الميكانيكي للمعدة وزيادة نشاط الأعصاب نظيره الودية (Parasympathetic) وكذلك عن طريق هرمون الجاستيرن (Gastrin) والذي يفرز من الخلايا (G) في الطبقة المخاطية للمعدة.

إن وجود المواد الحامضية أو الدهون في الاثني عشر تعمل على تبطئ عملية تفريغ المعدة، مما تعطي وقت أكبر لتعادل مستوى الأس الهيدروجيني PH وكذلك وقت لامتصاص تلك الدهون، ويتم تنظيم هذه العملية عن طريق هرمون الكوليسستيكنين (Cholecystokinin) وهرمون السكرتين (Secretin) واللذان يفرزان من الأمعاء الدقيقة استجابة لوجود المادة اللبيبة المكونة من الطعام (Chyme).

3- الأمعاء الدقيقة:

ثلاث نماذج من الانقباضات العضلية تحدث في الأمعاء الدقيقة:

- يتكون النشاط الميكانيكي التلقائي الناتج عن العضلات الناعمة في الأمعاء الدقيقة من حركة تجزيئية (Segmentation) حيث في هذا النوع من الحركة لا يكون هناك انتقال للانقباضة من منطقة إلى أخرى، بل تنقبض العضلات بشكل تلقائي وفي فترات منتظمة على طول الأمعاء الدقيقة مما يؤدي إلى انقسام المحتوى المعوي إلى أجزاء منفصلة، وبعد ذلك تسترخي مرة أخرى قبل أن يتم الانقباض الأخر في المواقع

المجاورة لها، بالتالي يتم دفع المادة اللبيبة إلى القسمين المجاورين لمنطقة الانقباضة، ويساعد ذلك على خلط المحتوى المعوي بشكل جيد مما يعزز عملية الهضم والامتصاص، إن تعدد حدوث عمليات الانقباض تقل كلما توجهنا من الاثني عشر إلى الجزء الأخير من الأمعاء الدقيقة المسمى اللفائفي (Ileum) وتزداد قوة الانقباض استجابة لأوامر الجهاز العصبي نظيرة الودي وتضعف استجابة للجهاز الودي وكذلك لمستوى الكتكلومينز (Catecholamines) في الدم.

– إن أساس عملية دفع الطعام في الأمعاء الدقيقة يأتي من الموجات التمعجية المحلية، وتكون عادةً على عكس تلك الموجودة في المريء والمعدة، حيث تنتقل لعدة سنتيمترات قليلة ثم تنقطع مما يؤدي إلى تبطئة حركة الطعام في الأمعاء وخصوصًا بعد تناول وجبة الطعام مباشرة، وهذا يساعد على توفر وقت كاف لإتمام عمليتي الهضم والامتصاص.

– في حالة الصيام بمعنى أن الإنسان توقف عن تناول الطعام عدة ساعات بعد إتمام عملية الامتصاص للوجبة السابقة بشكل جيد، فإنه يحث حركة دفع قوية جدًا تدعى بالحركة الانتقالية، وهذه تساعد على دفع ما تبقى من الأطعمة من الأمعاء الدقيقة إلى الغليظة عبر الصمام اللفائفي المصراني (Ileocaecal Valve) ويتم تهبيط هذا النوع من النشاط الميكانيكي عن طريق تناول الطعام، ومن ثم تعود الحركة التجزيئية.

4– الأمعاء الغليظة:

يحافظ القولون على معدل منخفض من الحركة التجزيئية ويحدث في هذه الأمعاء ما يمسى بالحركة الكتلية (Mass Movement) من 3–4 مرات في اليوم الواحد، وهذا النوع من الحركة عبارة عن انقباضة متزامنة ومستمرة ناتجة عن العضلات الدائرية والتي لا يتم انتقال موجاتها من مكان إلى آخر مثل الحركة التمعجية. وتحدث عدة بعد تناول

الطعام مباشرة، وقد تكون نتيجة للانعكاس المعدي القولوني المعتمد على هرمون الجاسترين (Gastrin).

تقوم هذه الحركات الكتلية بدفع المحتوى القولوني باتجاه المستقيم (Rectum)، مما يؤدي إلى انتفاخه وتحفيز منعكس التغوط (Defecation Reflex)، إن الإحساس الناتج عن مستقبلات الشد في المستقيم تحفز الجهاز العصبي نظير الودي في الحبل الشوكي في المنطقة العجزية مما تزيد من انقباضات القولون وارتخاء العضلات الناعمة في الصمام الداخلي لفتحة الشرج. إن تهبيط الأعصاب الإرادية المغذية للخلايا المستقيمة في الصمام الشرجي يؤدي إلى ارتخاء ذلك الصمام. أما انتفاخ المستقيم فيثير في الحاجة إلى التغوط، وعندما يكون الوقت مناسبًا للتغوط يتم استرخاء عضلات الصمام الخارجي ليتم التغوط، ويتم مساعدة عملية دفع الفضلات بواسطة استخدام عضلات البطن والحجاب الحاجز لزيادة الضغط الداخلي في البطن وهذا يسمى بالشد البطني.

ثالثا- الإفراز والهضم:

الهضم هو العملية التي من خلالها يتم تكسير جزيئات الطعام إلى أجزاء صغيرة جدًا يمكن أن تمتص عبر الجدار الهضمي للاستفادة منها في العمليات الاستقلابية في الجسم، وتعتمد هذه العملية وبشكل كبير على العصارات التي تفرز من القناة الهضمية والأعضاء ذات العلاقة بها، حيث يوجد وعلى طول القناة الهضمية غدد وخلايا ذات الإفراز الخارجي والتي تفرز ما يقارب 7 أو 8 لتر في التجويف المعوي كل يوم، وتتكون هذه الإفرازات من أجزاء مائية وأجزاء عضوية. حيث يتكون الجزيء المائي من مكونات السوائل خارج الخلايا ولكنها تختلف عن بلازما الدم نتيجة للتعديلات التي تحدث لها داخل تلك الخلايا الإفرازية من ضخ لبعض الأيونات وكذلك دور بعض النواقل، وبسبب أنه كل نوع من الخلايا الإفرازية تختلف عن الأخرى في ما تحتويه من مضخات للأيونات، فإن المحتوى المائي يختلف من نوع إلى آخر من الغدد. حيث الغدد التي

تحتوي على قنوات يتم تعديل وتغيير محتوى إفرازاتها أكثر بواسطة الخلايا الظاهرية (Epithelium) مثل الغدد اللعابية والبنكرياس، وتتكون العصارات الهضمية من محتوى عضوي بشكل إنزيم هضمي واحد أو أكثر يتم تصنيعها في الخلايا الإفرازية.

يتم التحكم بأنشطة كل غدة عن طريق عوامل موضعية وأخرى خارجية بواسطة الإشارات العصبية(تحكم عصبي)، وعن طريق هرمونات الدم (تحكم هرموني) وكذلك عن طريق المواد الكيميائية الموضعية.

1- اللعاب:

يفرز اللعاب من الغدة النكفية (Parotid)، الغدة اللعابية تحت الفك (Submandibular)، الغدد اللعابية تحت اللسان (Sublingual) والغدة اللعابية الجنبية (Buccal)، حيث يتكون الجزء المائي من محتويات مماثلة للسوائل الخارج خلوية. ويتم تعديل محتواها عند مرور السائل بالقنوات داخل الغدد، حيث يمتص الصوديوم والكلوريد ويضاف البوتاسيوم والبيكربونات، وتعمل البيكربونات على جعل سائل اللعاب قلويًا وتساعد على تخفيف الحمض الموجود في الطعام، كما أنها تعمل على حماية الفم والأسنان ضد التسوس. إن أهم المحتويات العضوية للعاب هي:

- المخاط لتسهيل حركة الأكل والطعام.
- إنزيم الأمايليز (Amylase) والذي يهضم النشويات عند مستوى قلوي من الأس الهيدروجيني.
- إنزيم الليزوزايم (Lysozyme) والذي يعمل ضد البكتيريا ويحمي الفم من العدوى.
- ويتم إفراز اللعاب عن طريق الانعكاسات العصبية التي تعمل من خلال نواة اللعاب في النخاع المستطيل (Medulla Oblongata) استجابة لـ:

- تحفيز المستقبلات الكيميائية والميكانيكية في الفم.
- الأنشطة المختلفة في المركز العلوي للجهاز العصبي المركزي مثل الشم أو التفكير بالطعام.

إن الأعصاب النازلة التي تحمل الانعكاسات العصبية هي أعصاب الجهاز العصبي نظير الودي والتي تندمج مع الأعصاب الجمجمية رقم سبعة وتسعة حتى تصل إلى الغدد، إن تحفيز الأعصاب نظير الودية يؤدي إلى إفراز اللعاب الغني بالإنزيمات، حيث العلاج يكبح الأعصاب نظيرة الودية يؤدي إلى حدوث جفاف في الفم عن طريق تعطيل إفراز اللعاب.

2- عصارة المعدة:

يحتوي السطح الداخلي للمعدة على تعرجات مرئية تُعرف بالتعرجات والتي تزيد من مساحة السطح الداخلي المخاطي، ويتكون هذا السطح المخاطي من طبقة مسطحة تفرز المخاط، الخلايا الظاهرية العمودية والتي تتقطع بعدة تصدعات (Pits) كل واحد منها يتجه إلى الأسفل نحو عدة قنوات للغدد ذات الإفراز الخارجي، وتعتبر الخلايا المخاطية المبطنة للغدد المعدية مصدر إفراز العصارة المعدية بالإضافة إلى عدد من الخلايا الخاصة التي تقوم بإفرازات مركبات أخرى. ونجد عادة أن الثلث إلى النصف الأعلى المبطن لتلك التصدعات مبطن بخلايا مخاطية، بينما يبطن الجزء السفلي بنوعين من خلايا الغدد، الأولى جدارية (Parietal) وتفرز الحمض، والثانية وهي اصغر في الحجم وأكثر انتشارًا وتدعى الخلايا الرئيسة (Chief Cell) والتي تفرز الإنزيم السالف للبيبسينوجين (Pepsinogen). وتحتوي الطبقة المخاطية على خلايا تقوم بإفراز مواد كيميائية قادرة على إفراز الحمض مثل الخلايا G والتي تفرز هرمون الجاسترين، وكذلك الخلايا المفرزة للهستمين (Histamine) والذي يعمل على التحكم بإفراز الحمض من الخلايا الجدارية المجاورة.