الفصل الثالث

# الجهاز الهضمي والاستفادة من العناصر الغذائية
# Digestive Tract and Nutrient Utilization

● المقدمة ● الجهاز الهضمي ● الاستفادة من الغذاء ● الهضم
● الامتصاص ● الأيض ● أجهزة الدورة الدموية

## (٣,١) المقدمة Introduction

يتم استفادة الجسم من العناصر الغذائية nutrients التي يتناولها الشخص بواسطة عمليات كيميائية وفيزيائية chemical & physical processes تحدث داخل الجسم وتعرف باسم الهضم والامتصاص والأيض، وتحول هذه العمليات المادة الغذائية المعقدة إلى عناصر بسيطة يستطيع الجسم امتصاصها من القناة الهضمية، ونقلها عبر الدم إلى داخل الخلايا المختلفة لأكسدتها من خلال عمليات الأيض الغذائي، ويترتب على ذلك توليد الطاقة وتكوين مركبات جديدة ضرورية لبناء أنسجة الجسم المختلفة للنمو. وتجدر الإشارة إلى أنه لمن الأسس المهمة في علم التغذية التعرف على جميع التغيرات التي تحدث للمادة الغذائية من لحظة تناولها إلى خروجها من الجسم في صورة فضلات، لأن ذلك يساعد اختصاصي التغذية في حل بعض المشكلات الغذائية. ولقد قسمت العناصر الغذائية إلى ثلاثة أقسام حسب وظائفها في الجسم وهي:

١ ـ العناصر الغذائية التي تمد الجسم بالطاقة: وتشمل الدهون والكربوهيدرات والبروتينات.

٢ ـ العناصر الغذائية اللازمة لبناء الأنسجة وصيانتها: وتشمل الماء والبروتينات والدهون والعناصر المعدنية والكربوهيدرات.

٣ ـ العناصر الغذائية اللازمة لتنظيم وظائف الجسم: تشمل الماء والبروتينات والدهون والكربوهيدرات والفيتامينات والمعادن.

## (٣,٢) الجهاز الهضمي Digestive System

إن دراسة الجهاز الهضمي في الإنسان من الأمور المهمة، حيث يترتب عليها فهم جميع عمليات الأيض الغذائي (امتصاص وهضم وأيض) التي يمر بها الغذاء داخل الجسم إلى أن يتحول في النهاية إلى طاقة ومركبات جديدة يستخدمها الجسم لبناء الأنسجة وللنمو. وتقدر سعة الجهاز الهضمي في الإنسان بحوالي ٦ لترات حيث تشكل المعدة والأمعاء الغليظة حوالي ١٥ ـ ٢٠٪ من السعة الكلية في حين تشكل الأمعاء الدقيقة حوالي ٦٠ ـ ٧٠٪ منها.

### (٣,٢,١) أجزاء الجهاز الهضمي Parts of digestive system

يتكون الجهاز الهضمي من الآتي:

**( ا ) القناة الهضمية Digestive tract**

وهي عبارة عن أنبوب طوله ٧,٥ ـ ٩ أمتار في الشخص البالغ وتمتد من الفم إلى فتحة الشرج anus وتتألف من الأجزاء التالية:

١ ـ **الفم Mouth** : هو بداية الجهاز الهضمي ويحدث فيه مضغ mastication الطعام وطحنه إلى أجزاء صغيرة. كما يخلط الغذاء داخل الفم مع اللعاب الذي تفرزه الغدد اللعابية. ويحتوي الفم على خلايا الحس المنتشرة على سطح اللسان وسقف الحلق والمسؤولة عن إحساس الشخص بطعم الغذاء ورائحته ونكهته، مما يزيد الرغبة بتناول المزيد منه، وينشط إفراز العصارات الهضمية في المعدة.

وأهم وظائف اللعاب هي: أنه يحتوي على إنزيم الأميليز اللعابي الذي يهضم النشويات ويسهل عملية البلع ويذيب مركبات الطعم والرائحة والنكهة في الغذاء، وينظم كمية الماء في الجسم.

$$\text{النشا (Starch)} \xrightarrow[\text{Salivary amylase}]{\text{الأميليز اللعابي}} \text{مالتوز (Maltose)} + \text{دكسترين (Dextrin)}$$

٢ ـ **المريء Esophagus** : هو عبارة عن أنبوب يوصل بين الفم والمعدة ولا يفرز أي عصارة هاضمة في داخله.

**٣ ـ المعدة Stomach** : تعتبر المعدة المخزن المؤقت للطعام، بالإضافة إلى أنها تقوم بإفراز العصارة المعدية gastric juice التي تهضم الدهون والبروتينات جزئيًا، كما يختلط الطعام في المعدة مع حمض الهيدروكلوريك الذي تفرزه. كذلك تفرز المعدة مادة مخاطية تسمى الميوسين ومادة أخرى تسمى العامل الداخلي intrinsic factor تساعد على امتصاص بعض الفيتامينات من الأمعاء مثل فيتامين (ب ١٢). وتعد المعدة عضوًا مطهرًا (بسبب احتوائها على حمض الهيدروكلوريك الذي يقتل كثيرًا من الميكروبات في الغذاء) ومنظمًا لحرارة الطعام لتصبح مساوية لحرارة الجسم. وقد أشارت الدراسات إلى أن تناول الأطعمة ذات درجات الحرارة المرتفعة جدًا قد يؤدي إلى الإصابة بالسرطان في الجزء العلوي من القناة الهضمية، وإلى تلف الغشاء المخاطي المبطن لجدار الأمعاء الدقيقة.

وأهم العوامل التي تحفز على إفراز العصارة المعدية هي :

(١) وصول الطعام إلى المعدة. (٢) وجود اللحوم ومادة الهيستامين في المعدة. (٣) رائحة الطعام أو نكهته أو رؤيته أو التفكير فيه.

وتتميز العصارة المعدية بأنها عبارة عن سائل أصفر اللون حمض ( pH = ١ ـ ٢) يحتوي على ٩٧ ـ ٩٨٪ ماء و ٢ ـ ٣٪ مواد عضوية ومواد صلبة. وتقدر الكمية التي يفرزها الإنسان يوميًا من العصارة المعدية بحوالي ٢,٥ لتر. وتفرز العصارة المعدية نتيجة تأثير عاملين هما : (١) الهرمونات التي يفرزها جدار المعدة والتي تنبه الغدد المعدية على إفراز العصارة و (٢) رد الفعل العصبي نتيجة ملامسة الطعام أو مركباته المتطايرة لمراكز الإحساس في اللسان والأنف، والذي يبدأ خلال خمس دقائق من تناول الطعام، ويستمر فترة ١ ـ ١,٥ ساعة.

وتحتوي العصارة المعدية gastric juice على بعض الإنزيمات التي تهضم العناصر الغذائية التالية :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| اللبيدات | ← (اللبيز المعدي) | أحماض دهنية | + | جليسريدات ثنائية |
| (Lipids) | (Gastric lipase) | (Fatty acids) | | (Diglycerides) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| البروتينات | ← (الببسين) | ببتيدات متعددة | + | أحماض أمينية | + ببتيدات متوسطة |
| (Proteins) | (Pepsin) | (Polypeptides | | (Amino acids) | (Oligopeptides) |

الكازين (Casein) ← الرنين (Rennin) ← بروتين حليب متخثر (كازين صلب غير قابل للذوبان) (Coagulated milk protein)

**٤ ـ الأمعاء الدقيقة Small intestine (الاثنا عشري Duodenum والصائم Jejunum واللفائفي Ileum ) :** تتم في هذا الجزء من الجهاز الهضمي معظم عمليات الهضم وكذلك امتصاص الجزء الأكبر من العناصر البسيطة الناتجة من هضم البروتينات والدهون والكربوهيدرات حيث تفرز العصارات المعوية intestinal juices التي تشمل الصفراء bile والعصارة البنكرياسية pancreatic juice والإفرازات المعوية intestinal secretions والتي تحلل الطعام إلى أبسط عناصره الغذائية القابلة للامتصاص من خلال جدار الأمعاء الدقيقة. وينظم إفراز العصارة المعوية في الأمعاء الدقيقة بواسطة عدد من الهرمونات التي سوف نذكرها لاحقًا إن شاء الله. ويمكن تلخيص النواتج النهائية للعناصر الغذائية بعد هضمها بواسطة العصارات المعوية التالية :

**الإفرازات المعوية Intestinal secretions**

البيتيدات (Peptides) ← أمينوبيتيديز (Aminopeptidase) ← أحماض أمينية (Amino acids)

البيتيدات الثنائية (Dipeptides) ← ببتيديز ثنائي (Dipeptidase) ← أحماض أمينية (Amino acids)

المالتوز (Maltose) ← مالتيز (Maltase) ← ٢ جلوكوز (2 Glucose)

السكروز (Sucrose) ← سكريز (Sucrase) ← جلوكوز (Glucose) + فركتوز (Fructose)

اللاكتوز (Lactose) ← لاكتيز (Lactase) ← جلوكوز (Glucose) + جالاكتوز (Galactose)

### العصارة البنكرياسية Pancreatic juice

البيتيدات المتعددة (Polypeptides) ← (التربسين Trypsin) ← ببتيدات (Peptides)

البيتيدات المتعددة (Polypeptides) ← (الكيموتربسين Chymotrypsin) ← ببتيدات (Peptides)

البيتيدات (Peptides) ← (الكربوكس ببتيديز Carboxypeptidase) ← أحماض أمينية (Amino acids)

الدهون (Fats) ← (الليبيز البنكرياسي Pan. lipase) ← جليسريدات أحادية (Monoglycerieds) + جليسيرول (Glycerol) + أحماض دهنية (Fatty acids)

النشا (Starch) ← (الأميليز البنكرياسي Pan. Amylase) ← مالتوز (Maltose) + دكسترين (Dextrin) + جلوكوز (Glucose)

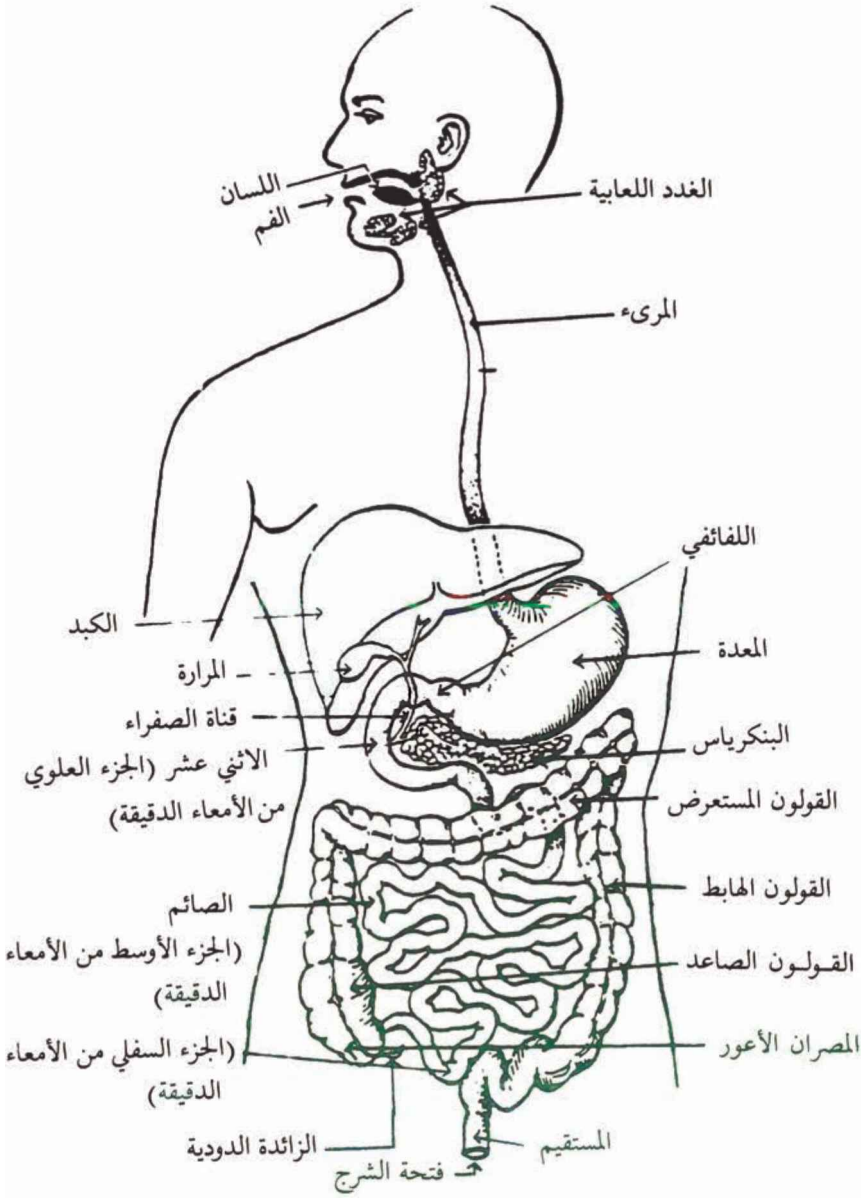
ويتم تنظيم إفراز الإنزيمات المذكورة أعلاه بواسطة هرمون السيكريتين secretin الذي يفرزه جدار الأمعاء عندما يلامسها الطعام.

**٥ ـ الأمعاء الغليظة Large intestine (القولون Colon والمصران الأعور Cecum والمستقيم Rectum والقناة الشرجية (Anus canal)** : يحدث في هذا الجزء من الجهاز الهضمي امتصاص للماء وحجز الفضلات waste لطرحها خارج الجسم، بالإضافة إلى حدوث عمليات هضم ميكروبية (microbial fermentation) قليلة جدًا بواسطة الإنزيمات الميكروبية microbial enzymes في القولون والأعور.

### (ب) الأعضاء الكمالية Accessory organs

يحتوي الجهاز الهضمي على بعض الأعضاء الكمالية وهي:

**١ ـ الغدد اللعابية Salivary glands** : يوجد في الفم ثلاثة أزواج من الغدد اللعابية هي: (١) الغدة النكفية، (٢) الغدة تحت اللسان، (٣) الغدة تحت الفك.




شكل (١, ٣) . الجهاز الهضمي في الإنسان.

## (٣, ٣) الاستفادة من الغذاء Food Utilization

يمر الغذاء الذي يتناوله الإنسان بسبع خطوات (مراحل) steps لكي يستطيع الجسم الاستفادة منه، أي لكي يتحول إلى طاقة ومركبات جديدة يمكن استخدامها لبناء أنسجة جديدة في الجسم، وتتلخص هذه الخطوات السبع في الآتي:

ويقدر مجموع ما تفرزه الغدد يوميًا من اللعاب بحوالي ١٠٠٠ ـ ١٥٠٠ ملليليتر. إلا أنه تجدر الإشارة إلى أن حجم اللعاب يتغير حسب حالة الجسم وطبيعة الطعام، فمثلاً الشخص المصاب بالجفاف يفرز كمية قليلة من اللعاب، والأطعمة الجافة تحتاج إلى كمية أكبر من اللعاب مقارنة بالأطعمة الطرية، والأطعمة الحمضية تسبب إفراز اللعاب لمعادلة الحمض.

ويحتوي اللعاب على إنزيم الأميليز اللعابي salivary amylase الذي يعمل على تحليل النشويات جزئيًا في الفم.

وأهم العوامل التي تحفز على إفراز اللعاب هي رؤية الطعام والتفكير فيه ومضغ الطعام في الفم وطعم الطعام ورائحته أو نكهته. كما أن الغدد اللعابية تفرز إفرازًا لزجًا (مادة مخاطية) وهو عبارة عن مادة مكونة من البروتين والكربوهيدرات وتعمل على تسهيل انزلاق الطعام في القناة الهضمية.

**٢ ـ الكبد Liver** : يفرز الكبد الصفراء bile التي تساعد على هضم اللبيدات وتتجمع الصفراء في المرارة، وتفرز في الاثنا عشري تحت تأثير هرمون الكولي سيستوكينين cholecystokinin الذي ينشط عندما يحتوي الطعام على مواد دهنية، حيث ينتقل مع الدم إلى المرارة gall bladder ليسبب انقباضها وتفريغ محتوياتها. وتعمل أملاح الصفراء على تجزئة الدهون إلى أجزاء صغيرة مما يسهل على إنزيم الليبيز lipase تحليلها إلى جليسيرول وأحماض دهنية، بالإضافة إلى أن أملاح الصفراء تسهل إذابة الأحماض الدهنية مما يسهل امتصاصها من خلال جدار الأمعاء الدقيقة.

**٣ ـ البنكرياس Pancrease** : يعد هذا العضو مصدرًا مهمًا لبعض الإنزيمات الهاضمة digestive enzymes التي تفرز مع العصارة البنكرياسية pancreatic fluid ولقد أشير إلى ذلك أعلاه. وتتميز العصارة البنكرياسية بأنها مائية القوام وذات رقم هيدروجيني قاعدي (pH = ٧ ـ ٨) وتحتوي على مواد عضوية وغير عضوية. وتقدر الكمية التي تفرز يوميًا من عصارة البنكرياس بحوالي ٠,٥ ـ ٠,٧٥ ليتر.

يوضح الشكل (١,٣) تركيب الجهاز الهضمي في الإنسان.

**١ ـ تعاطي الغذاء Ingestion**

يعني تناول الغذاء أو العناصر الغذائية nutrients مما ينشط العمليات الهضمية digestive processes .

**٢ ـ الهضم Digestion**

يقصد به العمليات الميكانيكية والكيميائية التي تحدث في القناة الهضمية، وتحلل الغذاء المعقد إلى عناصر بسيطة يمكن امتصاصها في القناة الهضمية.

**٣ ـ الامتصاص Absorption**

يعني مرور العناصر الغذائية المهضومة من خلال جدار القناة الهضمية إلى جدار الدورة الدموية.

**٤ ـ النقل أو الدوران Circulation or transportation**

يقصد به تحرك العناصر الغذائية الممتصة بواسطة الدورة الدموية إلى خلايا الجسم المختلفة.

**٥ ـ تبادل الغازات Exchange of gases (التنفس Respiration )**

يعني إمداد أو تزويد خلايا الجسم بالأكسجين الضروري لعمليات الأيض الغذائي (الأكسدة) بواسطة الدم ونقل ثاني أكسيد الكربون الناتج من هذه العمليات الأيضية إلى الرئتين لطرحه خارج الجسم مع هواء الزفير.

**٦ ـ الأيض Metabolism**

يقصد به أكسدة العناصر الغذائية داخل الخلايا لتكوين الطاقة ومركبات جديدة لبناء الأنسجة والنمو.

**٧ ـ الإخراج Excretion**

هو إخراج العناصر الغذائية غير الممتصة (غير المهضومة) مع البراز، وكذلك نواتج التمثيل الغذائي مثل ثاني أكسيد الكربون والفضلات من خلال الرئتين والكليتين (البول) على التوالي.

## (٣,٤) الهضم Digestion

بدأ الإنسان يهتم بعملية الهضم منذ زمن بعيد، وكان أول من قام بذلك هو العالم الفرنسي Rene de Reaumur (١٦٧٣ ـ ١٧٥٧م) الذي وجد بأن العصارة المعدية

تحول اللحوم إلى سائل. ثم تلاه William Beamont (١٧٨٥ - ١٨٥٣م) الذي قام بدراسات جادة في هذا المجال حيث تمكن من اكتشاف حركة المعدة أثناء الهضم وشكل الغشاء المخاطي داخل المعدة والعصارات الهاضمة، وقد كانت دراساته أساسًا لدراسة عملية الهضم وللتقدم الذي حدث في هذا المجال في القرن التاسع عشر.

وتعني عملية الهضم التحلل المائي hydrolysis للمواد الغذائية المعقدة complex foods إلى عناصر بسيطة قابلة للامتصاص من خلال الأغشية المخاطية المبطنة لجدار الأمعاء. وتشمل العناصر الغذائية التي يمكن امتصاصها الأحماض الأمينية والسكريات البسيطة والأحماض الدهنية والببتيدات القصيرة والجليسيرول glycerol والمعادن والفيتامينات.

وتتضمن عملية الهضم نوعين هما: الهضم الميكانيكي والهضم الكيميائي.

**( ا ) الهضم الميكانيكي Mechanical digestion**

يشمل مضغ الطعام وطحنه إلى جزئيات صغيرة وخلطه ودفعه في صورة كيموس chyme داخل الجهاز الهضمي. حيث يعمل الفم على طحن الغذاء، ويعمل انقباض العضلات الدائرية في جدار القناة الهضمية على طحن الغذاء وخلطه بالعصارات الهاضمة، ويعمل انقباض العضلات الطولية على دفع الغذاء إلى الأمام داخل الجهاز الهضمي.

**( ب ) الهضم الكيميائي Chemical digestion**

يقصد به تحليل الكربوهيدرات والبروتينات والدهون بواسطة الإنزيمات الهاضمة إلى جزيئات صغيرة يمكنها العبور من خلال جدار الأمعاء. وتتميز الإنزيمات الهاضمة digestive enzymes بأنها متخصصة، فمثلاً تعمل إنزيمات الكربوهيدليزات car-bohydrases على تحليل الكربوهيدرات وتعمل إنزيمات الليبيزات lipases على تحليل الدهون والزيوت، وتعمل إنزيمات البروتيزات proteases على تحليل البروتينات pro-teins.

ويساعد حمض الهيدروكلوريك HCl الذي تفرزه المعدة على هضم البروتينات، بالإضافة إلى أنه يطهر المعدة bactericid من الميكروبات الضارة التي تدخل مع الغذاء،

ويحلل بعض السكريات الثنائية الموجودة في الوجبة ويساعد على ذوبان الحديد والكالسيوم ويحول بعض الإنزيمات من الصورة غير النشطة إلى الصورة النشطة مثل تحويل الببسينوجين pepsinogen إلى ببسين pepsin الضروري لهضم البروتينات. كما ينظم - أي حمض الهيدروكلوريك - انفتاح وانغلاق فتحتي الفؤاد والبواب الموجودتين في مقدمة ومؤخرة المعدة حيث تغلق الأولى وتفتح الثانية عندما يصبح الوسط حامضيًا داخل المعدة. ولقد وجد بأن الطعام يمكث في المعدة حوالي ٣ - ٥ ساعات يمر بعدها إلى الأمعاء الدقيقة حيث تترك الكربوهيدرات المعدة أولاً ثم تليها البروتينات وأخيرًا الدهون التي تبقى مدة طويلة في المعدة.

### (١, ٤, ٣) الهرمونات الهضمية Digestive hormones

يتم التحكم في إفرازات الجهاز الهضمي وعمليات الهضم الميكانيكية والكيميائية التي تحدث بداخله بواسطة الهرمونات الهضمية (ببتيدات peptides) التي يتم تصنيعها بداخله وتتحرك مع الدم إلى المكان المناسب target cells في القناة الهضمية، أي أن هذه الهرمونات تحفز على إفراز الإنزيمات والعصارة المعدية اللازمة لعمليات الهضم في الوقت المناسب، ويمكن حصر الهرمونات الهضمية بالآتي:

#### ١ - هرمون الجاسترين Gastrin

يفرز هذا الهرمون من الأغشية المخاطية antropyloric mucosa الموجودة في المعدة ويحفز على إفرازه انتفاخ الجزء الأمامي antral portion من المعدة (بسبب امتلائه بالطعام) أو احتواء المعدة على ببتيدات peptides وأحماض أمينية أو على تنبيه العصب الحائر. ويعمل هذا الهرمون على تحفيز إفراز حمض الهيدروكلوريك (HCl) والببسين pepsin في المعدة. ويقف إفراز هرمون الجاسترين في المعدة وتأثيره على إفراز حمض الهيدروكلوريك عندما يصبح الوسط في المعدة مرتفع الحموضة.

#### ٢ - هرمون السيكريتين Secretin

يُفرز هرمون السيكريتين من الأغشية المخاطية المبطنة للجزء العلوي (الاثنا عشري) والأوسط (الصائم) من الأمعاء الدقيقة ويعمل هذا الهرمون على تنظيم إفراز

العصارات الهاضمة في الأمعاء الدقيقة (عصارة الصفراء والبنكرياس) كما أنه يوقف إفراز حمض الهيدروكلوريك وهرمون الجاسترين. ويحفز على إفرازه وصول الطعام (الكيموس) الحامضي إلى الأمعاء الدقيقة.

**٣ ـ هرمون الكولي سيستوكينين Cholecystokinin (CCK)**

تفرزه الأغشية المخاطية في الأمعاء الدقيقة، ويحفز على إفرازه وجود مواد دهنية أو ببتيدات peptides أو أحماض أمينية في الاثنا عشري. ويعمل هذا الهرمون على انقباض المرارة وتفريغ محتوياتها من أملاح الصفراء في الاثنا عشري عن طريق القناة الصفراوية البنكرياسية المشتركة.

**٤ ـ هرمون انتروجاسترون Enterogastrone**

تنتجه الأغشية المخاطية في الاثنا عشري تحت تأثير وجود المواد الدهنية والسكريات في المعدة، ويعمل على تثبيط الإفرازات المعدية، وإيقاف انقباضات الأمعاء الذاتية peristatsis (حركة الأمعاء).

**(٣,٤,٢) الهضم في الفم والمعدة والأمعاء الدقيقة Digestion in mouth, stomach and small intestine**

يتناول الإنسان العديد من الأغذية، بعضها في صورة بسيطة مثل السكريات الأحادية والماء والمعادن وهذه تُمتص بدون أي تغير وبعضها في صورة معقدة مثل البروتينات والدهون و الكربوهيدرات وهذه تتعرض إلى الهضم الميكانيكي والهضم الكيميائي في القناة الهضمية. وتؤدي عملية طهي بعض الأغذية مثل الأرز واللحوم والبقوليات إلى تليينها، مما يسهل هضمها في الجهاز الهضمي، كما أن عملية الطهي تحسن من الطعم والرائحة التي يستشعرها الشخص بواسطة الأعصاب الحسية المنتشرة على اللسان والحلق مما يحبب الشخص في الغذاء ويزيد من إفرازات العصارات المعدية.

وتبدأ عملية الهضم في الفم بعد تناول الطعام مباشرة، حيث تعمل الأسنان على طحن الغذاء وخلطه باللعاب الذي يسهل ابتلاعه، كذلك يحدث تحلل جزئي للنشا

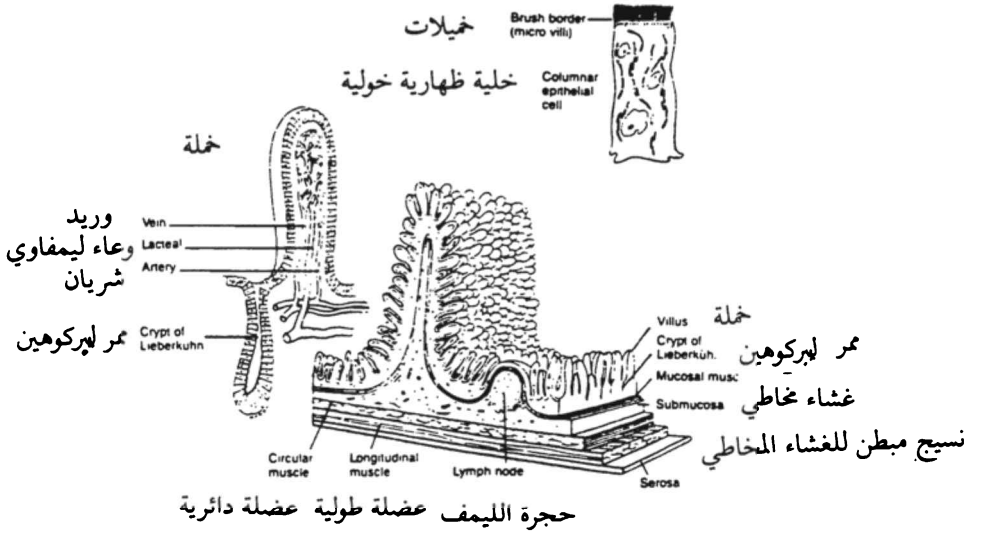
بواسـطة إنـزيم الأميليز اللعابي salivary amylase . ثم يندفع الغذاء من الفم إلى البلعوم ومنه إلى المريء بتأثير انقباضات العضلات الطولية وعندما تنفتح فتحة الفؤاد الموجودة في مقدمة المعدة يدخل الغذاء إلى المعدة. ويستمر تأثير إنزيم الأميليز في المعدة (١٠ ـ ١٥ دقيقة) إلى أن ترتفع حموضة الغذاء بواسطة حمض الهيدروكلوريك فيتوقف نشـاط الإنـزيم. وفي المعـدة يتم خلط الطعام بالعصارات الهاضمة المعدية (إنزيم الببسين والرنين والليبيز وحمض الهيدروكلوريك والميوسين mucin ) ويتحول إلى مادة شبه سائلة تسمى الكيموس chyme تتحرك تدريجيًّا إلى الإثنا عشري بتأثير التقلصات العضلية لجدار المعدة عن طريق الفتحة البوابية الموجودة في مؤخرة المعدة والتي تنفتح أتوماتيكيًّا كل ٣ ـ ٤ دفعات من الطعام، بالإضافة إلى أنها تمنع ارتداد الكيموس من الأمعاء إلى المعدة.

إن ما يحدث من هضم للدهون في المعدة قليل جدًّا (تحليل جزئي) نظرًا لأن الوسط الحامضي فيها لا يساعد إنزيم الليبيز lipase على العمل في حين يعتبر البروتين من أكثـر المـواد الغـذائية تحللاً في المعدة. ويحفز وصول الطعام إلى المعدة على إفراز العصارة المعدية، في حين يقلل المجهود الفكري أو الشعور بالخوف أو الاكتئاب أو الحزن أو كمية الدهن المفرطة من إفراز العصارة المعدية ومن حركة المعدة مما يؤدي إلى حالة سوء الهضم وعدم الرغبة في الأكل. ثم يترك الطعام المعدة بعد ٣ ـ ٥ ساعات متجهًا إلى الجزء الأمامي من الأمعاء الدقيقة (الاثنا عشري) في صورة سائلة تسمى الكيموس chyme كما ذكر أعلاه. وتجدر الإشارة إلى أن الاثنا عشري يحتوي على جزء بسيط من العصارة المعدية وتفرز فيه العصارة البنكرياسية pancreatic juice والصفراء bile الضرورية لاستكمال هضم الدهون والبروتينات والكربوهيدرات. ويحدث الهضم الفعلي والكلي للدهون في الأمعاء الدقيقة بتأثير إنزيم الليبيز البنكرياسي pancreatic lipase وأملاح الصفراء التي يفرزها الكبد والتي تنتقل إلى الأمعاء الدقيقة عن طريق القناة الصفراوية. حيث تعمل الصفراء على تجزئة الدهون إلى أجزاء صغيرة مما يسهل تحليلها بواسطة إنزيم الليبيز إلى أحماض دهنية وجليسرول، بالإضافة إلى أنها تسهل إذابة الأحماض الدهنية مما يزيد من معدل امتصاصها من خلال جدار الأمعاء الدقيقة. وتحتوي العصارة البنكرياسية على خمسة إنزيمات هي التربسين trypsin والكيموتربسين

chymotrypsin والكربوكس ببتيديز carboxypeptidase والليبيز lipase والأميليز البنكرياسي pancreatic amylase حيث تعمل الإنزيمات الثلاثة الأولى على هضم البروتينات إلى أحماض أمينية يمكن امتصاصها من خلال جدار الأمعاء بسهولة. أما بالنسبة للكربوهيدرات التي تم هضمها جزئيًا في الفم بواسطة إنزيم الأميليز اللعابي فإنه يحدث لها هضم حقيقي في الاثنا عشري بواسطة إنزيم الأميليز البنكرياسي الذي له القدرة على هضم النشويات غير المطهية.

### (٣,٥) الامتصاص Absorption

تتم عملية امتصاص العناصر الغذائية المهضومة أساسًا في الأمعاء الدقيقة بواسطة الخمائل villi وهي عبارة عن نتوءات تشبه الأصابع finger like projections ناشئة من تلافيف folds الأمعاء الدقيقة كما هو موضح في الشكل (٢,٣). وقد وجد أن تغطية تلافيف الأمعاء الدقيقة بحوالي ملايين من الخمائل يزيد من مساحة السطح الداخلي للأمعاء المتصل بالعناصر الغذائية مما يزيد من كفاءة عملية الامتصاص. وتنتقل العناصر الغذائية الممتصة إلى الدم عن طريق الأوعية (الشعيرات) الدموية capillaries أو الأوعية الليمفاوية lymph vessels الموجودة في الخملات المبطنة لجدار الأمعاء الدقيقة. وحيث إن البروتينات المهضومة (أحماض أمينية) والكربوهيدرات المهضومة (جلوكوز، فركتوز، جالاكتوز) والدهون (الجليسيرول والأحماض الدهنية قصيرة السلسلة) تنتقل مباشرة إلى الأوعية الدموية ومنها إلى الوريد البابي portal vien ثم إلى الكبد، في حين تنتقل الدهون الممتصة من خلال جدار الأمعاء (الأحماض الدهنية طويلة السلسلة، الجلسريدات الأحادية، الكوليسترول والفوسفوليبيدات) والفيتامينات الذائبة في الدهن (فيتامين A, D, E, K) عن طريق الأوعية الليمفاوية ومنها إلى القناة الليمفاوية lymph duct (الجهاز الليمفاوي lymph system) ثم إلى الكبد حيث تنتشر منه إلى أنسجة الجسم المختلفة. كما تنتقل المعادن والفيتامينات إلى الدم عن طريق الأوعية الدموية. وتجدر الإشارة هنا إلى أن بعض المعادن والسكريات الأحادية والماء تمتص بمعدلات منخفضة من خلال جدار المعدة إلى الدم مباشرة، كما يمتص أيضًا الماء في الأمعاء الغليظة. ويمكث الطعام في الأمعاء الدقيقة حوالي ٤,٥ ساعة يتجه بعدها إلى الأمعاء الغليظة ليمكث فيها حوالي ٩,٥ - ١٥,٥ ساعة.




**شكل (٢, ٣). رسم تخطيطي لجدار الأمعاء الدقيقة في الإنسان.**

ويختلف معدل امتصاص العناصر الغذائية في الأمعاء الدقيقة من عنصر غذائي إلى آخـر، فمثـلاً يصـل معـدل تركيز الجلوكـوز في الـدم إلى أعـلى مستـوى بعـد ٤ ـ ٦ ساعات من تناول الطعام، والدهن بعد ٨ ـ ١٢ ساعة، والبروتينات بعد ٦ ـ ٨ ساعات. ومما تجدر الإشارة إليه أن ٨٠٪ من الماء المتناول مع الغذاء وكذلك ٩٥ ـ ٩٧٪ من الكربوهيدرات والبروتينات والدهون يتم امتصاصها في الأمعاء الدقيقة. ولقد وجـد أن الـبروتينات النباتية تمتص بمعدل أقل مقارنة بالبروتينات الحيوانية، كما أن السكريات تهضم وتمتص بمعدل أسرع من النشويات. والجدير بالذكر كذلك أنه يتم امتصاص كمية قليلة جدًّا من الماء من الأمعاء الغليظة، علمًا بأن الوظيفة الرئيسية لها هو تخزين فضـلات الـطعـام غير الممتصة بالإضافة إلى أنها المكان الوحيد في جسم الإنسان الذي يتم فيه تصنيع بعض الفيتامينات (مثل مجموعة فيتامين ب وفيتامين ك) بواسطة البكتريا التي تعيش فيها.

### (٣,٥,١) طرق امتصاص العناصر الغذائية

تتم عملية امتصـاص العنـاصر الغـذائية المهضومة وانتقالها من خلال جدار الأمعاء الدقيقة بالطرق التالية:

**١ ـ الانتشار Diffusion**

تعبر العناصر الغذائية جدار الأمعاء بصورة حرة من التركيز المرتفع (خارج الخلية) إلى التركيز المنخفض (داخل الخلية) ومن الأمثلة على ذلك الماء واللبيدات lipids الصغيرة وبعض العناصر الغذائية الأخرى. وتشبه هذه الطريقة انتقال العناصر بالضغط الأسموزي osmotic pressure .

**٢ ـ النقل غير النشط Passive transport**

تتم عملية امتصاص العناصر الغذائية من خلال أغشية خلايا الأمعاء الدقيقة بمساعدة حامل carrier يعمل على زيادة نفاذية أغشية الخلايا مما يسهل عبور العناصر الغذائية من خلالها، ومن الأمثلة على ذلك امتصاص الجلوكوز والجالاكتوز. ومن أهم العوامل التي تتحكم في النقل غير النشط درجة ذوبان العناصر الغذائية وحجمها.

**٣ ـ النقل النشط Active transport**

يتم امتصاص العناصر الغذائية عبر جدار الأمعاء الدقيقة بواسطة حامل carrier يحتاج إلى طاقة ATP ومن الأمثلة على ذلك امتصاص السكريات الأحادية (جلوكوز وجالاكتوز) والأحماض الأمينية وبعض الفيتامينات والمعادن مثل الصوديوم وعناصر أخرى غذائية. وتنقل العناصر الغذائية بطريقة النقل النشط عندما يكون تركيزها في تجويف الأمعاء lumen أقل مما في الدم أو الخلايا، لهذا تحتاج إلى ضخ pump بمساعدة حامل وطاقة.

## (٣,٦) الأيض Metabolism

يعرف الأيض بأنه العمليات أو التفاعلات الكيميائية chemical reactions التي تحدث داخل جميع الخلايا الحية في الجسم. حيث تتجه العناصر الغذائية الموجودة في الدم إلى خلايا الجسم الحية لتتحول بداخلها من عناصر غذائية food إلى طاقة energy ومركبات جديدة new compounds تستخدم لبناء الأنسجة ولقيام الجسم بوظائفه الحيوية. ويتضمن الأيض الغذائي العمليات التالية:

**١ ـ عمليات الهدم Catabolism**

وتشمل جميع التفاعلات الكيميائية التي تهدم فيها العناصر الغذائية لإنتاج الطاقة، ومن الأمثلة على ذلك أكسدة الجلوكوز داخل الخلايا إلى طاقة وثاني أكسيد كربون وماء.

**٢ ـ عمليات البناء Anabolism**

تشمل جميع التفاعلات الكيميائية التي تدخل فيها العناصر الغذائية وذلك لتصنيع مركبات جديدة بالجسم مثل الهرمونات والإنزيمات والعضلات والأنسجة الدهنية. كما تشمل عمليات البناء تصنيع الجليكوجين glycogen (من الجلوكوز) والكوليسترول cholesterol والدم. وتحدث عمليتا البناء والهدم معًا في فترة واحدة داخل الخلايا، إلا أن الأولى تعتمد على الثانية في الحصول على الطاقة اللازمة لها.

وكما هو معروف تحدث معظم التفاعلات في داخل الخلايا بمساعدة إنزيمات متخصصة، لهذا فإن عدم وجود هذه الإنزيمات يؤدي إلى حدوث خلل واضطرابات في عمليات الأيض الغذائي. وقد أدى التعرف على نشاطات الإنزيمات المتخصصة على اكتشاف ما يعرف باضطراب الأيض الوراثي inborn error of metabolism الذي يظهر على بعض الرضع infants . فمثلاً يصاب الإنسان بما يعرف باسم الجالاكتوسيميا galactosemia بسبب عدم توافر إنزيم معين ضروري لأكسدة سكر الجالاكتوز galactose ، كما أن عدم وجود إنزيم اللاكتيز lactase في المعدة يؤدي إلى حالة عدم تحمل اللاكتوز lactose-intolerance . كما أن نقص إنزيم معين يؤدي إلى عدم قدرة الجسم من الاستفادة من الحمض الأميني فنيل ألانين phenylalanine مما يؤدي إلى الإصابة بمرض الفنيل كيتونوريا phenylketonuria.

**(١, ٦, ٣) تعاريف ذات علاقة بالأيض الغذائي**

**المجمع الأيضي Metabolic pool**

يقصد به المجموع الكلي للعناصر الغذائية المتوافرة في لحظة ما من عمليات الأيض الغذائي والمستخدمة لأجل عمليات التصنيع synthesis . فمثلاً المجمع

الأيضي للأحماض الأمينية metabolic pool of amino acids في لحظة ما يعني الكمية الكلية للأحماض الأمينية الممتصة من الغذاء إلى الدورة الدموية، بالإضافة إلى كمية الأحماض الأمينية الناتجة من تهدم الأنسجة والخلايا. ومن هذا الخليط أو المجمع من الأحماض الأمينية تحصل الخلايا على احتياجاتها لتصنيع بروتين محدد (جديد) specific protein .

### المسارات المشتركة Common pathways

يتم أيض الكربوهيدرات والبروتينات والدهون عن طريق مسارات متعددة يعتمد على بعضها البعض. ويتم الحصول على الطاقة من الجلوكوز والأحماض الدهنية والجليسيرول والأحماض الأمينية عن طريق مسار مشترك واحد. كما يمكن للأحماض الأمينية أن تتحول إلى جلوكوز وأحماض دهنية في حين يمكن أن يتحول الجلوكوز إلى أحماض دهنية وكوليسترول cholesterol .

### التوازن الديناميكي Dynamic equilibrium

يعني التوازن بين عمليات الهدم والبناء التي تحدث داخل خلايا الجسم، أي أن الجسم يبني كمية من الأنسجة مساوية لتلك التي تهدمت أثناء عمليات الهدم، ومن الأمثلة على ذلك ما يحدث لخلايا الأمعاء والكبد التي تستبدل كل فترة محددة.

## (٣,٧) أجهزة الدورة الدموية Circulatory Systems

تنتقل العناصر الغذائية الممتصة من خلال جدار الأمعاء الدقيقة إلى خلايا الجسم المختلفة بواسطة الدورة الدموية التي تصلها هذه العناصر الغذائية إما عن طريق جهاز الأوعية الدموية vascular system أو عن طريق الجهاز الليمفاوي lymphatic system . وتنقل البروتينات في الدورة الدموية على شكل أحماض أمينية، والكربوهيدرات على شكل سكريات أحادية، والدهون على شكل ليبوبروتينات lipoproteins أو كيلوميكرونات chylomicrons .

**أولاً: جهاز الأوعية الدموية The vascular system**

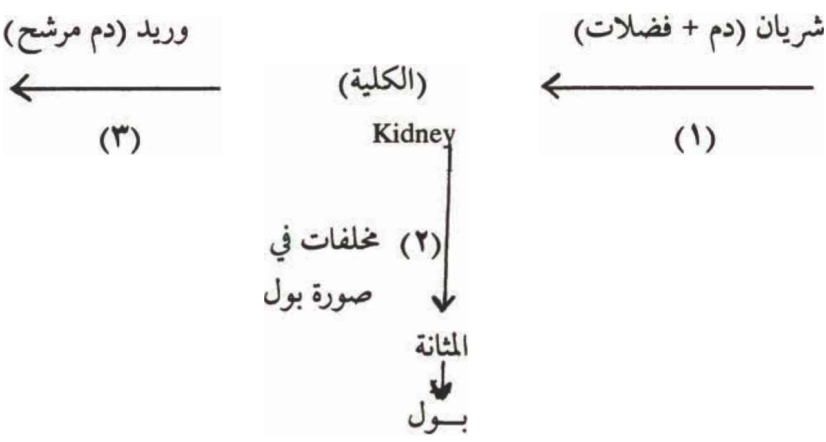
يقوم هذا الجهاز بنقل الجزء الأكبر من العناصر الغذائية من الأمعاء الدقيقة إلى الدورة الدموية ومنها إلى أنسجة الجسم المختلفة ويمكن تلخيص وظائفه كالتالي:

يضخ الجزء الأيمن من القلب الدم من خلال الشرايين arteries إلى الشعيرات الدموية capillaries في الرئتين حيث يتحمل بالأكسجين اللازم لأكسدة العناصر الغذائية أثناء عملية الأيض الغذائي ويعود ـ الدم ـ مرة أخرى إلى الجزء الأيسر من القلب عن طريق الأوردة veins . ثم بعد ذلك يضخ الجزء الأيسر من القلب الدم عن طريق الشرايين والشريان الأورطي إلى جميع أنسجة الجسم المختلفة (الرأس، الكبد، الجهاز الهضمي، والحوض pelvis والكليتان والأرجل) ويعود الدم مرة أخرى عن طريق الأوردة إلى الجزء الأيمن من القلب. تحتوي الخملات المبطنة لجدار الأمعاء الدقيقة على أوعية (شعيرات) دموية تنقل العناصر الغذائية عن طريق الوريد البابي إلى الكبد ومنه إلى الجزء الأيمن من القلب الذي يضخها إلى جميع أجزاء الجسم مع الدورة الدموية.

القلب ← الشرايين ← الأمعاء ← الوريد البابي ← القلب

يتضح مما ذكر أعلاه بأن خلايا الجسم تحصل على العناصر الغذائية والأكسجين من الدم، كما أنها تطرح نواتج (فضلات) waste الأيض الغذائي وثاني أكسيد الكربون في الدم ليطرحها خارج الجسم مع البول أو عن طريق الرئتين على التوالي. والكليتان هما المكان الرئيسي الذي يحدث فيه ترشيح لنواتج الأيض الغذائي من الدم قبل طرحها خارج الجسم مع البول ومن الأمثلة على ذلك خروج اليوريا (البولينا) وحمض البوليك الناتجين من أيض البروتينات والأحماض النووية مع البول. كما تعمل الكليتان على إعادة امتصاص بعض العناصر الغذائية التي انخفض مستواها في الدم وكذلك تحافظ على الضغط الأسموزي عن طريق التخلص من الأملاح المعدنية الزائدة عن حاجة الجسم وتنظم الماء في الجسم.

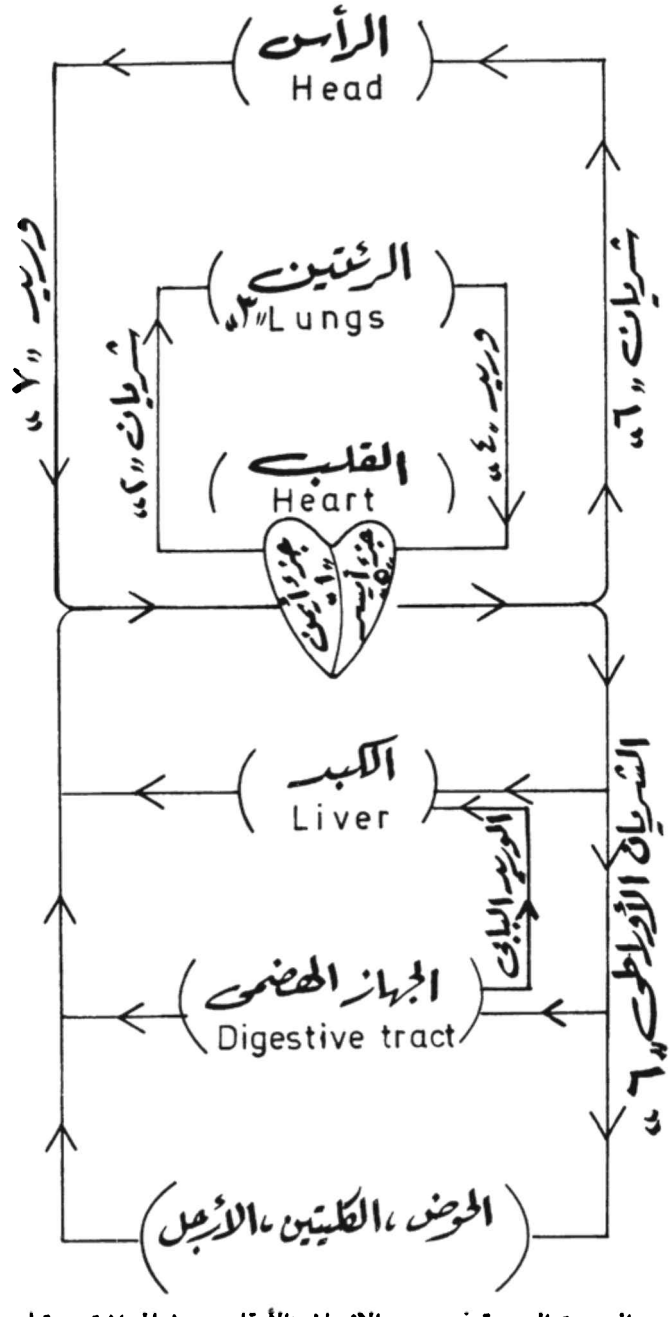
ويمكن تلخيص عملية ترشيح نواتج الأيض الغذائي من الدم في الشكل التالي:




**ثانيًا: الجهاز الليمفاوي The lymphatic system**

الجهاز الليمفاوي عبارة عن جهاز دورة دموية ثانوي يتكون من فراغات عديدة بين الخلايا تسمى الأوعية الليمفاوية وهي تشبه الفراغات الموجودة في الإسفنج sponge. ويحتوي هذا الجهاز على سائل الليمف lymph الذي يشبه الدم تمامًا فيما عدا خلوه من كرات الدم الحمراء التي لا تستطيع المرور من خلال جدار الأوعية الليمفاوية.

وتنقل بعض العناصر الغذائية الممتصة إلى الدورة الدموية عن طريق الأوعية الليمفاوية الموجودة داخل الخمائل المبطنة لجدار الأمعاء الدقيقة. ثم تتجمع هذه الأوعية في قناة ليمفاوية تسمى القناة الصدرية thoracic duct التي تنتهي بشريان يوصل الليمف إلى القلب الذي يضخه إلى الدورة الدموية. ويوضح الشكل (٣,٣) عملية نقل العناصر الغذائية الممتصة من الأمعاء وتوزيعها على أنسجة الجسم المختلفة.




شكل (٣,٣) . الدورة الدموية في جسم الإنسان (الأرقام من ١ إلى ٧ تعني تتابع سريان الدم داخل جسم الإنسان).