الفصل الثانى
التغذية والهضم والطاقة

obeikandl.com

obeikandl.com

مفهوم التغذية NUTRITION

التغذية: هى مجموع العمليات الحيوية التى يحصل الكائن الحى عن طريقها على المواد اللازمة لاستخدامها فى بناء الجسم وتجديد الفاقد من الأنسجة ولبقائه فى حالة صحية جيدة.

الطعام أو الغذاء Food: هو ما يتناوله الكائن الحى، وبعد هضمه يتحول إلى المواد البسيطة ويمد الجسم بالعناصر الغذائية اللازمة.

فوائد الغذاء:

يحقق الغذاء النواحى الرئيسية الآتية:

١ – يمد الجسم بما يلزم من المواد اللازمة للنمو، وتعويض مايفقده من خلايا نتيجة جروح أو مرض.

٢ – يمد الجسم بالحرارة نتيجة مايتعرض له الغذاء بعد امتصاصه من القناة الهضمية لكثير من التفاعلات الكميائية يؤدى إلى هدم المواد البروتينية والكربوهيدراتية والدهنية، ويؤدى ذلك إلى انطلاق كمية من الطاقة لازمة لنشاط الكائن الحى.

حيث إن:

١ جم من المواد البروتينية ← ٤,١ سعر حرارى.

١ جم من المواد الكربوهيدراتية ← ٤,١ سعر حرارى.

١ جم من المواد الدهنية ← ٩,٣ سعر حرارى.

٣ – يمد خلايا الجسم بالمواد اللازمة للنشاط والقدرة على العمل.

٤ – يعمل على وقاية الجسم من الامراض لاحتوائه على الفيتامينات والاملاح المعدنية.

المجاميع أو العناصر الغذائية:

هى مواد كيميائية لايمكن تخليقها داخل جسم الإنسان، ولذلك لابد من توافرها فى الوجبة الغذائية لتمد الجسم باحتياجاته المختلفة فى عمليات الأيض الغذائى والنمو.

وتنقسم هذه المجاميع أو العناصر الغذائية إلى:

أ – مجاميع أو عناصر غذائية تدخل فى بناء الجسم كالبروتينات والأملاح المعدنية والماء.

ب – مجاميع أو عناصر غذائية تمد الجسم بالطاقة كالكربوهيدرات والدهون والبروتينات.

جـ – مجاميع أو عناصر غذائية منظمة لعمل الجسم كالأملاح المعدنية والفيتامينات والبروتينات والماء.

كان من المعتقد عند قدماء المصريين أن الغذاء له علاقة وثيقة بالسلوك فمثلا كان يعتقد ان البصل يؤدى إلى النوم واللوز والكرنب يمنعان ادمان الكحول والاملاح تحفز على النشاط. وكان الإغريق القدامى يعتقدون ان الغذاء هو القاسم المشترك فى العلاج النفسى والطبى.

ومن الدراسات المختلفة على أنواع الغذاء وجد ان هناك علاقة بين مانتغذى به وبين السلوك، وقبل أن نستعرض العلاقة بين الغذاء والسلوك، سوف نلقى الضوء على مما يتكون الغذاء؟ يتكون الغذاء من المواد البروتينية والكربوهيدراتية والدهنية والاملاح المعدنية والفيتامينات والماء.

أولاً: البروتينات Proteins:

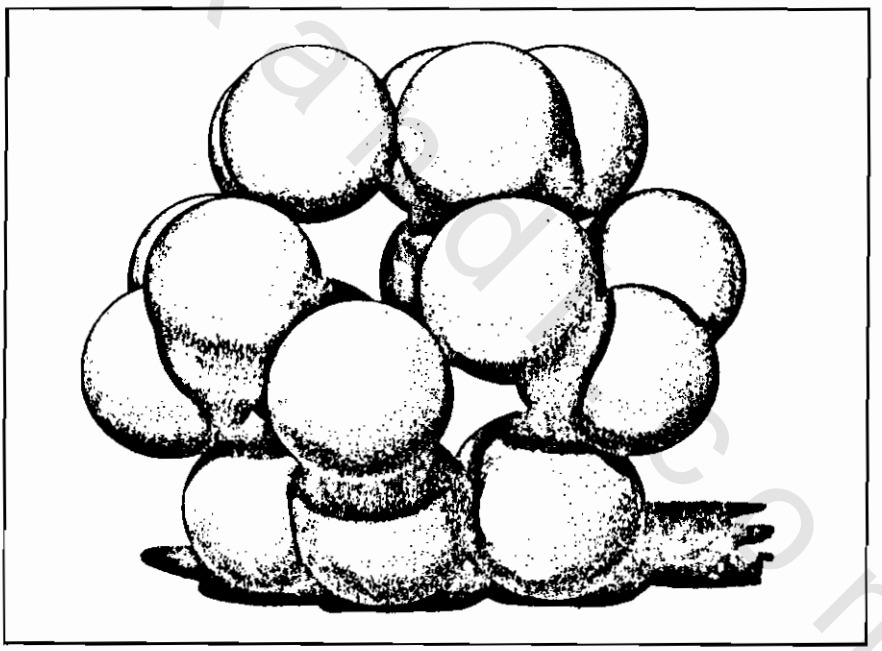
يمثل البروتين الجزء الاكبر من تركيب أنسجة الجسم وان حوالى ١٦٪ من وزن الجسم عبارة عن بروتين وان وظيفته كبيرة فى بناء وبقاء الجسم فى حالة سليمة.

وتتوقف القيمة الغذائية للبروتينات على مدى ماتحتويه من الاحماض الامينية الاساسية التى تدخل فى العمليات الحيوية للجسم. وتعتبر البروتينات الحيوانية الاصل

ذات قيمة حيوية مرتفعة، مقارنة بالبروتينات النباتية ذات القيمة الحيوية المنخفضة لأنها لاتحتوى على كل الأحماض الامينية الاساسية التى يحتاجها الجسم؛ ولذلك فإنها لاتكفى وحدها للتغذية بل يجب مساعدتها ببروتين آخر يحتوى على الأحماض الامينية المطلوبة.

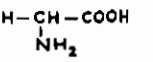
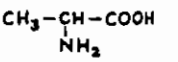
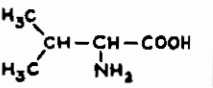
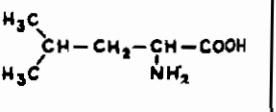
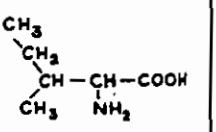
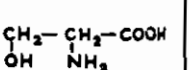
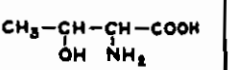
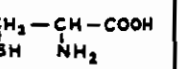
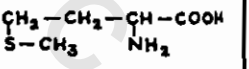
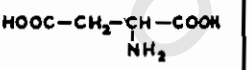
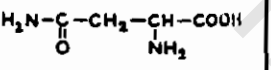
تركيب البروتين Structure of Protein

البروتين عبارة عن سلسلة من الاحماض الامينية مرتبطة مع بعضها بروابط ببتدية، وكل حمض أمينى يتكون من ذرتين من الكربون مرتبطتين مع بعضهما، وذرة منهما مرتبطة مع النتروچين، وسلسلة جانبية side chain . وتختلف السلسلة الجانبية من حمض إلى آخر، ومن هنا تعطى لكل حمض امينى خواص وتركيبًا يختلف عن الآخر.



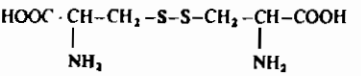
Representation of quaternary stucture of a protein "ping-pong ball" model of the apoferritin molecule. this consists of 20 subunits,each with a molecular weight of about 20,000 daltons. The subunits are arranged to form a hollow sphere which may become packed with iron salts forming the iron storage protein ferritin (Courtesy of R.A.Fineberg).

L-a-Amino acids found in proteins

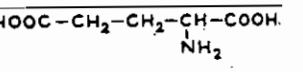
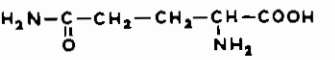
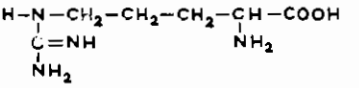
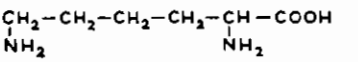
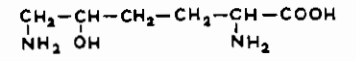
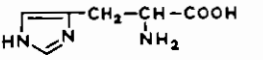
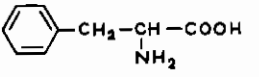
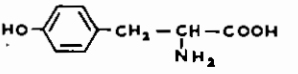
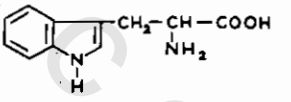
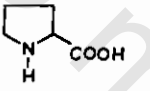
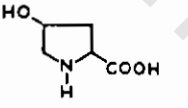
Trivial Name	Abbreviation	Chemical Name	Structural Formula
With Aliphatic Side Chains			
Glycine*	Gly	Aminoacetic acid	
Alanine	Ala	α-Aminopropionic acid	
Valine	Val	α-Aminoisovaleric acid	
Leucine	Leu	α-Aminoisocaproic acid	
Isoleucine	Ile	α-Amino-β-methylvaleric acid	
With Side Chains Containing Hydroxylic (OH) Groups			
Serine	Ser	α-Amino-β-hydroxypropionic acid	
Threonine	Thr	α-Amino-β-hydroxy-n-butyric acid	
With Side Chains Containing Sulfur Atoms			
Cysteine†	Cys	α-Amino-β-mercaptopropionic acid	
Methionine	Met	α-Amino-γ-methylthio-n-butyric acid	
With Side Chains Containing Acidic Groups or Their Amides			
Aspartic acid	Asp	α-Aminosuccinic acid	
Asparagine	Asn	γ-Amide of α-aminosuccinic acid	

*Since glycine has no asymmetric carbon atom, there can be no D or L form.

†The amino acid cystine, β,β-dithio-(α-aminopropionic acid), consists of 2 cysteine residues linked by a disulfide bond:



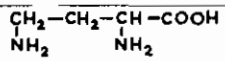
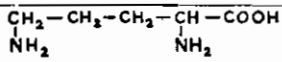
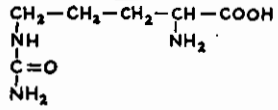
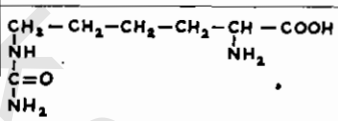
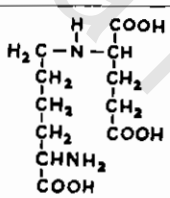
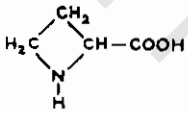
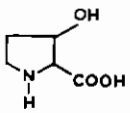
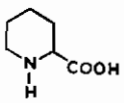
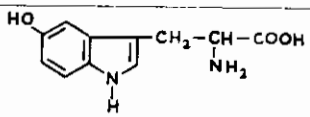
L-a-Amino acids found in proteins

Trivial Name	Abbreviation	Chemical Name	Structural Formula
Glutamic acid	Glu	α-Aminoglutaric acid	
Glutamine	Gln	δ-Amide of α-aminoglutaric acid	
With Side Chains Containing Basic Groups			
Arginine	Arg	α-Amino-δ-guanidino-n-valeric acid	
Lysine	Lys	α,ε-Diaminocaproic acid	
Hydroxylysine*	Hyl	α,ε-Diamino-δ-hydroxy-n-caproic acid	
Histidine	His	α-Amino-β-imidazolepropionic acid	
Containing Aromatic Rings			
Histidine (see above)			
Phenylalanine	Phe	α-Amino-β-phenylpropionic acid	
Tyrosine	Tyr	α-Amino-β-(*p*-hydroxyphenyl) propionic acid	
Tryptophan	Trp	α-Amino-β-3-indolepropionic acid	
Imino Acids			
Proline	Pro	Pyrrolidine-2-carboxylic acid	
4-Hydroxyproline	Hyp	4-Hydroxypyrrolidine-2-carboxylic acid	

Naturally occurring amino acids which do not occur in proteins

Trivial Name	Formula	Occurrence or Significance
β-Alanine	$CH_2(NH_2)-CH_2-COOH$	Part of pantetheine and of coenzyme A
Taurine	$CH_2(NH_2)-CH_2-SO_3H$	Free in cells; combined with bile acids (eg, taurocholate)
α-Aminobutyric acid	$CH_3-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Animal and plant tissues
γ-Aminobutyric acid	$CH_2(NH_2)-CH_2-CH_2-COOH$	Brain tissue
β-Aminoisobutyric acid	$H_2N-CH_2-CH(CH_3)-COOH$	End product in pyrimidine metabolism; found in urine of patients with an inherited metabolic disease (see p 358)
Homocysteine	$CH_2(SH)-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Methionine biosynthesis
Homoserine	$CH_2(OH)-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Threonine, aspartate, and methionine metabolism
Cysteinesulfinic acid	$CH_2(SO_2H)-CH(NH_2)-COOH$	Rat brain tissue
Cysteic acid	$CH_2(SO_3H)-CH(NH_2)-COOH$	Wool
Felinine	$HO-CH_2-CH_2-C(CH_3)_2-S-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Cat urine
Isovalthine	$CH_3-CH(CH_3)-CH(COOH)-S-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Urine of cats and of certain hypothyroid patients
2,3-Diaminosuccinic acid	$HOOC-CH(NH_2)-CH(NH_2)-COOH$	Excreted by *Streptomyces rimosus*, which produces oxytetracycline
γ-Hydroxyglutamic acid	$HOOC-CH(OH)-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Catabolism of 4-hydroxyproline
α-Aminoadipic acid	$HOOC-CH_2-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Intermediate of lysine biosynthesis by yeast
α,ε-Diaminopimelic acid	$HOOC-CH(NH_2)-CH_2-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$	Bacterial cell walls; intermediate of lysine biosynthesis by bacteria
α,β-Diaminopropionic acid	$CH_2(NH_2)-CH(NH_2)-COOH$	In the antibiotic viomycin

Naturally occurring amino acids which do not occur in proteins

Trivial Name	Formula	Occurrence or Significance
α,γ-Diaminobutyric acid		In polymyxin antibiotics
Ornithine		Urea cycle intermediate
Citrulline		Urea cycle intermediate
Homocitrulline		Urine of normal children
Saccharopine		Intermediate of lysine biosynthesis by yeast and Neurospora
Azetidine-2-carboxylic acid		Lilies
3-Hydroxyproline		Achilles tendon of cattle; in the antibiotic Telomycin
Pipecolic acid		In certain antibiotics; metabolic product of D-lysine breakdown in mammals.
5-Hydroxytryptophan		Precursor of serotonin

Naturally occurring amino acids which do not occur in proteins

Trivial Name	Formula	Occurrence or Significance
3,4-Dihydroxyphenylalanine (DOPA)		Precursor of melanin
Monoiodotyrosine		Thyroid tissue and blood serum
3,5-Diiodotyrosine		In association with thyroid globulin
3,5,3′-Triiodothyronine		Thyroid tissue
Thyroxine (3,5,3′,5′-tetraiodothyronine)		In association with thyroid globulin
Azaserine*		Potent inhibitor of tumor growth

*Not a naturally occurring amino acid, but listed here because of its importance as an inhibitor at various steps of purine biosynthesis

obeikandl.com

Weak acid groups of amino acids

	Conjugate Acid	Conjugate Base	Approximate pK_a
α-Carboxyl	R–COOH	$R–COO^-$	2.1 ± 0.5
Non-α-carboxyl	R–COOH	$R–COO^-$	4.0 ± 0.3
Imidazolinium (histidine)			6.0
α-Amino	$R–NH_3^+$	$R–NH_2$	9.8 ± 1.0
ε-Amino (lysine)	$R–NH_3^+$	$R–NH_2$	10.5
Phenolic OH (tyrosine)			10.1
Guanidinium (arginine)			12.5
Sulfhydryl (cysteine)	R–SH	$R–S^-$	8.3

ويوجد حوالى ٢٠ حمضًا امينيًّا لتكوين البروتين ويستطيع الجسم ان يكون منها ١٢ حمضًا أمينيًّا ولذا تسمى بالاحماض الامينية غير الأساسية Non-essential amino acids أى أنه ليس من المهم أن تتواجد فى الوجبة الغذائية، وأن الثمانية أحماض امينية الاخرى لايستطيع الجسم أن يكونها، ولذلك لابد من وجودها فى الوجبة الغذائية، وتسمى بالاحماض الامينية الاساسية Essential amino acids.

Essential amino asids	Non- essential amino acids
Iso Leucine	Alanine
Leucine	Arginine
Lysine	Asparagine
Methionine+ Cysteine	Aspartic acid
Phenyl alanine + Tyrosine	Cysteine
Threonine	Glutamic acid
Tryptophan	Glutamine
Valine	Glycine
	Proline
	Serine
	Tyrosine
	Histidine

وقد وجدت حديثا طريقة أخرى لتقسيم الاحماض الامينية :

١ – الاحماض الامينية ذات السلسلة الجانبية غير القطبية غير المشحونة

Amino acids with nonpolar uncharged side chain

مثل : الجليسين – الآلانين – الفالين – الليوسين – الأيسوليوسين – البرولين – الفينيل آلانين – التريبتوفين – الميثونين.

Glycine, alanine, Valine, Ieucin, Isoleucine, proline, Phenylalaine Tryptophan and Methionine.

٢ - الاحماض الامينية ذات السلسلة القطبية غير المشحونة

Amino acids with uncharged, polar side chain

مثل: السيرين - الثريونين - السيستين - التيروسين - الاسبراجين - الجلوتامين.

serine, threonine, Cysteine, tyrosine, asparagine and glutamine

٣ - الاحماض الامينية ذات السلسلة الجانبية المشحونة

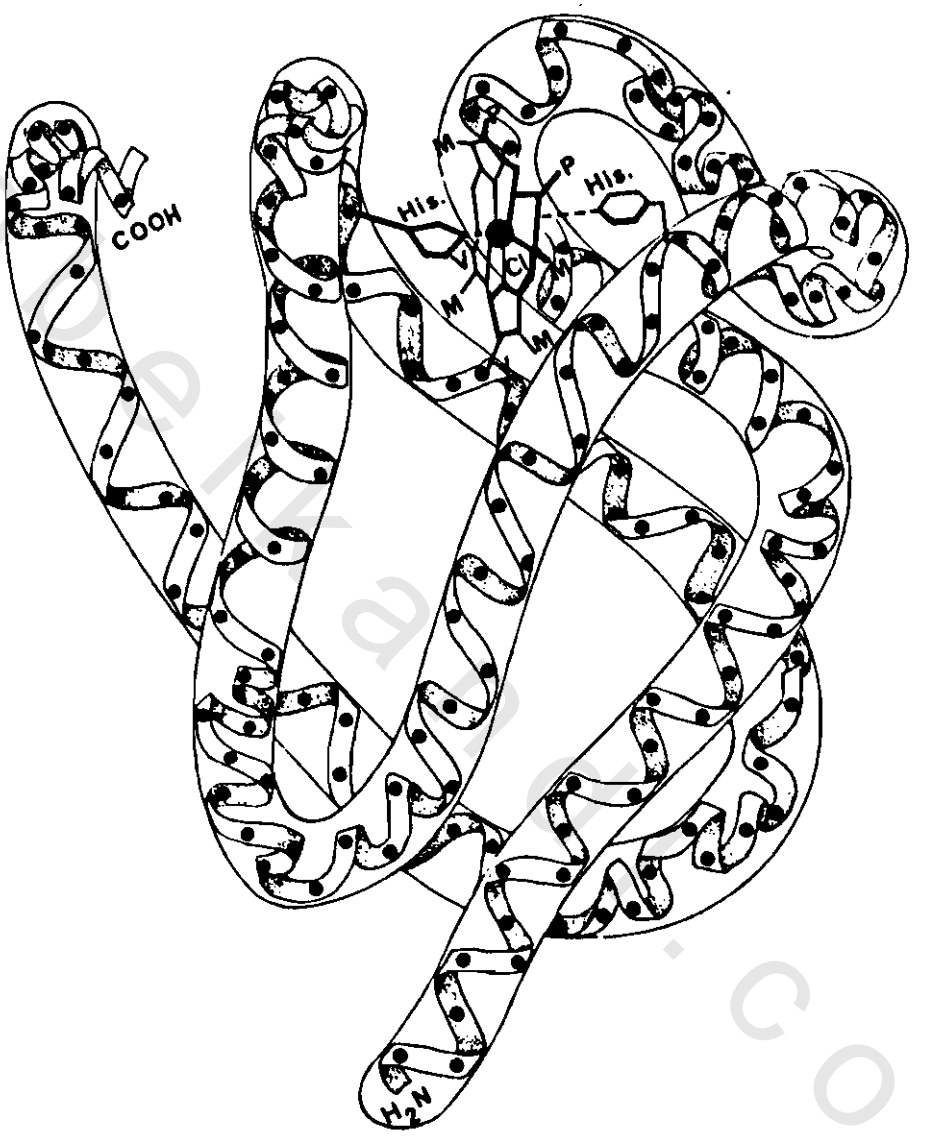
Amino acids with charged side chain

مثل: حامض الاسبارتيك - حامض الجلوتاميك - الهيستيدين - الليسين والارجينين.

Aspartic acid, glutamic acid, histidine, lysine and arginine

وعادة يكون البروتين فى شكل سلسلة مستقيمة ثم تنثنى وتصبح على شكل حلزونى ثم تنثنى مرة أخرى ويصبح البروتين عبارة عن سلسلة ثلاثية الأبعاد Three dimensions وتكوين البروتين ليست له صورة نهائية؛ إذ إنه يتغير تبعا لاحتياج الجسم لاى نوع من البروتين، ويحتوى الجسم على عديد من البروتينات والتى تختلف باختلاف ترتيب الاحماض الامينية.

وعند تعريض البروتين لدرجة حرارة عالية (عند الطهى) أو الأشعة فوق البنفسجية أو لوسط حمضى أو قلوى أو لبعض المعادن مثل الفضة أو الزئبق فإن البروتين تحدث له عملية تسمى Denaturation وهى تغيير من طبيعة البروتين عن طريق تكسير الروابط الهيدروجينية المسئولة عن التركيب الثانوى للبروتين والتى تعرف باسم seconday structure وهى عملية غير عكسية، أى لايرجع البروتين إلى حالته الأولى ولذلك لابد أن يكون وسط الدم متعادلا.



Representation of primary, secondary, and tertiary structure of a protein. (Courtesy of R. E. Dickerson).

وظيفة البروتين أو الاحماض الأمينية :

١ – يعتبر البروتين المسئول الأول عن بناء أنسجة الجسم الجديدة، وتجديد الانسجة التالفة اثناء الحروق او الإصابة بمرض. ومن ناحية أخرى فإن جميع الانزيمات ومعظم الهرمونات فى الجسم عبارة عن بروتينات، كما أن الاجسام المضادة المسئولة عن مهاجمة او الاتحاد بالاجسام الغريبة التى تدخل الجسم عبارة عن بروتينات معقدة أو متشابكة التركيب.

٢ – تدخل الاحماض الامينية فى بناء حمض نووى Deoxyribonucleic acid (DNA)، وهو المسئول عن شفرة الوراثة فى الجسم، ويمكن ان تعتبر الأحماض الأمينية مصدراً للطاقة إذا نفذت مصادر الطاقة بالجسم.

٣ – تدخل فى تكوين مواد مهمة فى الجسم كالهرمونات والإنزيمات وأملاح الصفراء فبعض الهرمونات تتكون من حمض أمينى واحد كالادرينالين والثيروكسين.

٤ – تدخل فى تكوين الاحماض الامينية التى يمكن الاستغناء عنها فى الغذاء مثل الأحماض الأمينية غير الأساسية.

٥ – ويحتاج الفرد لحوالى ٠,٣٦ جم / ١٠٠ جم من وزنه من البروتين فى اليوم، وتزداد الحاجة اليه فى فترات الحمل والرضاعة. وإذا زادت كمية البروتين عن الحد اللازم يعتريها العملية المعروفة بنزع الأمونيا وتتكون الأحماض الكيتونية والأمونيا.

وأهم مصادر البروتين: اللحم – البيض – السمك – اللبن – الفول – الحبوب – الخضروات.

قياس كفاءة البروتين Measuring Protein Quality :

أشار الباحثون إلى طرق عديدة لقياس كفاءة بروتينات المواد الغذائية. ومن المعلومات العامة فى هذا المجال ان الاحماض الامينية التى من أصل بروتين حيوانى يكون امتصاصها أفضل « ٩٠٪ » من تلك التى تأتى من البقول ثم الحبوب. وكذلك ثبت من التجارب أن استخدام الحرارة الرطبة « البخار » يساعد على هضم البروتين، بينما طرق الحرارة الجافة تتلف البروتين.

والبروتين الذى يمد الجسم بجميع الاحماض الامينية الاساسية بكمياتها المناسبة

يستخدم بالكامل، وان وجدت الاحماض الامينية بتركيزات منخفضة فى الوجبة الغذائية، فإنها تحد من استخدام أو الاستفادة من الاحماض الامينية الاخرى لبناء البروتين.

هذا . . والجدير بالذكر أنه عند فقد الاحماض الامينية، فإن مجموعة الامين التى تحتوى على النيتروجين لاتخزن. ولهذا فإن كفاءة البروتين التى تحافظ على انسجة الجسم يمكن تقييمها تجريبيا بقياس النيتروجين المفقود من الجسم. وتدل أعلى كمية متبقية من النيتروجين على كفاءة البروتين العالية، وهذا هو أساس تحديد القيمة الحيوية للبروتين Biological válue (BV) ولهذا فإن بروتين البيض اعلى كفاءة؛ لانه يمتص بنسبة قد تصل إلى ١٠٠٪، ويعتبر مقياساً للبروتينات الأخرى.

أما فيما يتعلق بما يسمى الاستفادة المثلى للبروتين Net protein utilization (NPU) فهى عبارة عن قياس كمية البروتين المتبقى من البروتين المتناول.

وتشير المراجع العلمية إلى أن معدل كفاءة البروتين protein efficiency ratio (PER) يمكن حسابها من خلال إطعام صغار فئران التجارب بالبروتين وقياس الزيادة فى الوزن اثناء النمو بالنسبة لوحدة البروتين.

تؤكد الكمية المسموح بها Recommended Dietary or daily allowance (RDA) هى الكمية التى تغطى الاحتياج لتحل محل البروتين المفقود والانسجة التى تبلى يوميا، وتفى بحاجة الجسم من بناء انسجة جديدة، ومن هنا فإن هذه النسبة عالية عند الاطفال والرضع.

الاتزان النيتروجينى Nitrogen balance :

هى نسبة النيتروجين المفقود بالإخراج إلى نسبة النيتروجين الموجود فى الغذاء. وفى الإنسان البالغ فإن نسبة النيتروجين المأخوذة تساوى نسبة النيتروجين المفقودة. وبقياس نسبة النيتروجين المفقودة فى البول والبراز والعرق، نستطيع حساب نسبة البروتين التى يحتاجها الجسم.

وبصفة عامة فعندما تكون نسبة النيتروجين الداخل إلى الجسم اكثر من النيتروجين الخارج يكون الاتزان النيتروجينى موجبا، وهذا يعنى ان هناك بناءً في البروتين اكثر من

الهدم، وعندما يكون الاتزان النتروجين سالبا فهذا يعنى ان النيتروجين المفقود أعلى من النيتروجين المأخوذ، وهذا دليل على أن الجسم يفقد البروتين.

ثانياً: الكربوهيدرات Carbohydrates:

تشتمل المواد الكربوهيدراتية على مجموعة كبيرة من المركبات التى تنتشر فى المملكة النباتية وهى قليلة الوجود فى المملكة الحيوانية. ومن اهم المواد الكربوهيدراتية الناتجة من النبات السليلوز (فى جميع النباتات) وسكر القصب (قصب السكر – البنجر – الفواكه) والنشا (القمح – الذرة – الارز – البطاطس والبطاطا) والفركتوز والجلوكوز (فى الفواكه). اما فى المملكة الحيوانية فإن المواد الكربوهيدراتية المهمة الموجودة بها هى: سكر اللبن (اللاكتوز) والجليكوچين فى الكبد والعضلات.

وظائف المواد الكربوهيدراتية:

١ – هى المصدر الرئيسى للطاقة فى الجسم، ويحصل الإنسان منها على حوالى ٢٠٠٠ سعر حرارى من مجموع السعرات اللازمة يوميا، والتى تبلغ ٣٠٠٠ كيلو كالورى، والتى تختلف طبقا لعديد من العوامل منها النوع والجنس والنشاط وغيرها.

٢ – تخزن على شكل جليكوچين فى الكبد، والذى يستخدم عند الحاجة وتبلغ كمية الجليكوچين المخزونة حوالى ٢٠٠ جرام.

٣ – تدخل فى تكوين الاحماض النووية التى توجد فى الخلايا.

٤ – تمد الجسم بالجلوكوز وتعمل على بقاء نسبته بالجسم ثابتة.

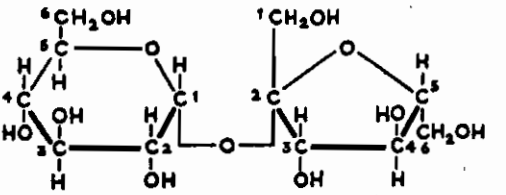
٥ – تدخل فى تكوين بعض مرافقات الانزيمات Co-enzymes.

٦ – تتحول إلى مواد دهنية تخزن بالجسم.

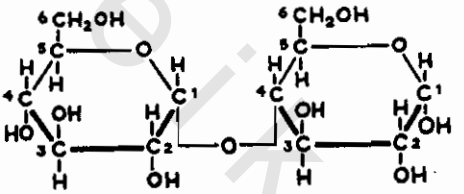
٧ – تكون المواد الكربوهيدراتية حامض الجلوكورونيك فى الكبد؛ لاستخدامه فى إزالة سمية بعض المركبات التى تدخل الجسم.

وكلمة الكربوهيدرات تعنى تميؤ الكربون (hydrate of carbon) وهذه الكلمة مأخوذة من مشاهدة الكيميائيون الأوائل إنه عند حرق الجلوكوز لمدة طويلة فى انبوبة يكون مصحوبا بتكوين قطرات من الماء يمكن تكثيفها وبقايا سوداء من الكربون.

(HAWORTH FORMULAS)

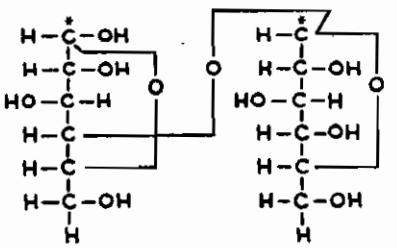


1-α-D-Glucopyranosido-β-D-fructofuranoside



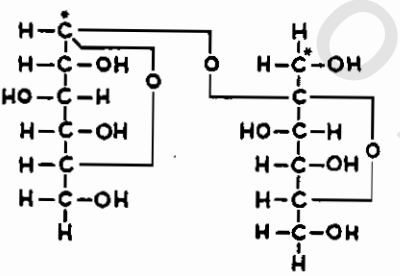
4-α-D-Glucopyranosido-α-D-glucopyranoside

MALTOSE(aFORM)



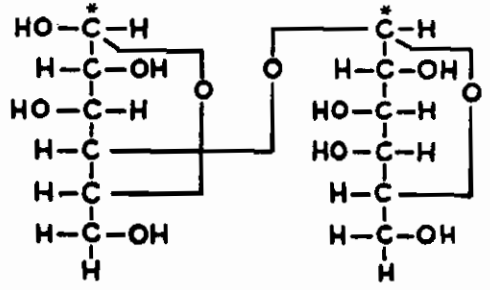
Two α-D-glucopyranose components

SUCROSE



α-D-Glucopyranose component

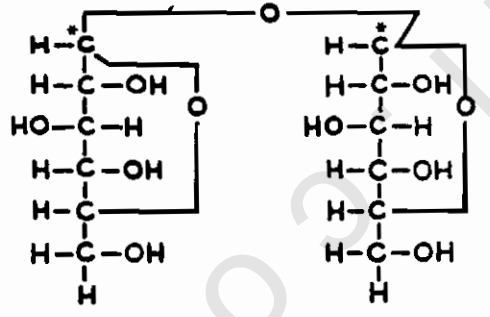
β-D-Fructofuranose component



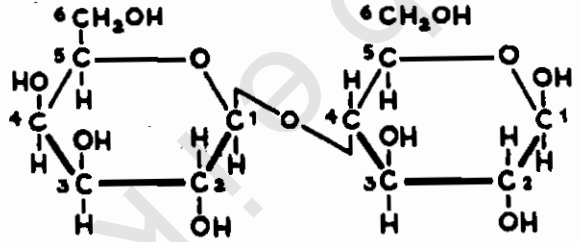
β-D-Glucopyranose component

β-D-Galactopyranose component

TREHALOSE (α FORM)

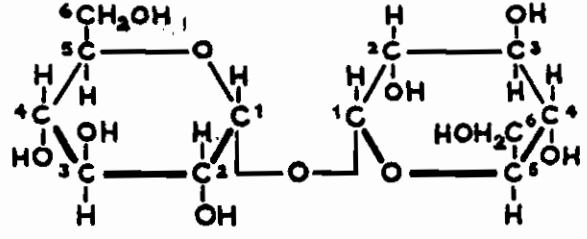


Two α-D-glucopyranose components



4-β-D-Glucopyranosido-β-D-galactopyranoside

LACTOSE (BFORM)



1-α-D-Glucopyranoside

Structures of representative disaccharides.

وتنقسم الكربوهيدرات بصفة عامة إلى: كربوهيدرات بسيطة Simple وكربوهيدرات مركبة أو معقدة complex.

والكربوهيـدرات البـسـيطة هى عـبـارة عن السكريات الأحـادية Monosaccharides $C_n H_{2n} On$ والسكريات الثنائية Disaccharides Cn (H20) n-1 ومن السكريات الأحادية الجلوكوز والفركتوز والجالاكتوز (Glucose, Frutose & Galactose) وجميعها سداسية الكربون وتركيبها العام $C_6 H_{12}0_6$. هذا وتتحول الكربوهيدرات داخل الجسم إلى جلوكوز والذى يعتبر تركيزه مهمّاً جداً فى قيام الجسم بوظائفه الحيوية ويتراوح تركيزه فى الدم فى الحالة الطبيعية من ٧٠-١١٠ مجم/ ١٠٠ مليلتر ويعتبر الجلوكوز مصدر الطاقة الوحيد للجسم والمخ والاعصاب وخلايا الجسم المختلفة للقيام بوظائفها الحيوية.

وهناك عدة عوامل تعمل على بقاء نسبة الجلوكوز فى الدم ثابتة، فعندما ترتفع نسبة الجلوكوز فى الدم فإن العضو الاول الذى يستجيب هو البنكرياس الذى يقوم بإفراز الانسيولين، حيث يعمل على أن تقوم معظم خلايا الجسم باخذ الجلوكوز من الدم وتقوم بتحويله إلى جليكوجين أو دهون، ويقوم الكبد بتحويل السكريات والبروتينات الزائدة عن الحاجة إلى دهون يختزنها الجسم، وعندما تكون نسبة الجلوكوز فى الدم قليلة فإن البنكرياس يقوم بإفراز هرمون الجلوكاجون، الذى يقوم بتحويل الجليكوجين إلى جلوكوز.

ويوجد الجلوكوز فى الفاكهة والفركتوز فى العسل والفواكه ،ويوجد الجالاكتوز مرتبطا مع الجلوكوز لتكوين سكر اللبن « لاكتوز Lactose » وهو من السكريات الثنائية.

ومن أمـثلة السكريات الثنائيـة $C_{12} H_{22} 0_{11}$: السكروز والمالتوز واللاكتوز Sucrose, Maltose & Lactose ويوجد السكروز فى قصب السكو والمالتوز فى الشعير واللاكتوز فى اللبن.

ومن أمثلة الكربوهيدرات المركبة $(C_6H_{10}0_5)_n$: السكريات عديدة التسكر

polysaccharide مثل النشا والسيلولوز وهى عبارة عن وحدات من الجلوكوز مرتبطة مع بعضها فى شكل سلسلة، وكذلك السيليولوز والمواد البكتية pectic substances والتى تشتمل على البروتوبكتين protopectin والبكتين pectin وحمض البكتنيك pectinic acid وحمض البكتيك pectic acid.

ثالثا : الدهون Lipids :

الوظائف الحيوية للدهون :

١ – انتاج السعرات الحرارية حيث يعطى الجرام الواحد حوالى ٩ كيلو كالورى.

٢ – مذيب للڤيتامينات التى تذوب فى الدهون، مثل ڤيتامين أ–A، دD، كK، ي E.

٣ – زيادة الدهن فى الغذاء تسبب تأخير الشعور بالجوع لأنه بطىء الهضم.

٤ – إعطاء الغذاء مذاقاً ورائحة مميزة.

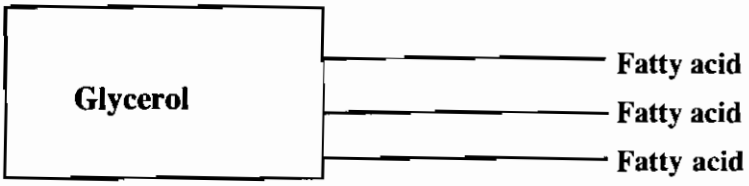
٥ – تكون الدهون جزءاً مهماً فى تركيب خلايا الجسم الحية.

٦ – يؤثر الدهن على سرعة تكلس العظام.

٧ – تؤثر كمية الدهن فى الغذاء على هضم وامتصاص محتويات الغذاء الأخرى من كربوهيدرات وبروتين، وبذلك نجد أنه يتحتم وجودها بنسبة ١ :٥.

٨ – بعض الأحماض الدهنية غير المشبعة كحامض الينوليك تعتبر ضرورية للنمو الطبيعى.

والدهون مواد كيميائية تحتوى على الكربون والهيدروچين والاكسچين، وتطلق هذه الكلمة على الدهون (Fats) والزيوت (Oils) والكوليسترول (Cholestrol) والليسيثين (Lecithin) وجميع الدهون لاتذوب فى الماء. ومعظم الدهون التى توجد فى الطعام وفى الجسم تكون على صورة ثلاثى الجليسيرات Triglycerides، وهى عبارة عن ثلاثة أحماض دهنية متصلة بالجليسرول Glycerol فتختلف الدهون عن المواد عديدة التسكر بأنها لاتكون على هيئة سلسلة طويلة من الاحماض الدهنية.



وتنقسم الأحماض الدهنية إلى أحماض مشبعة وغير مشبعة Saturated Fatty acids وغير مشبعة Unsaturated .

الأحماض الدهنية المشبعة :

وتتميز هذه المجموعة بأن كل ذرة كربون ترتبط بذرة كربون مجاورة لها، وبذرتين من الهيدروجين.

```
    H  H          H
H-  C-  C..... C -COOH
    H  H          H
```

الأحماض الدهنية غير المشبعة :

وهى تتكون إذا فقد الحمض الدهنى ذرتين هيدروچين من ذرتين الكربون المتجاورتين فإنه ينتج تبعاً لذلك رابطة ثنائية بين ذرتى الكربون.

```
    H  H        H              H
H-  C-  C -C = C- C ..... C -COOH
    H  H  H  H  H          H
```

وإذا كان الحمض الدهنى يحتوى على أكثر من رابطة ثنائية فيسمى حمضاً دهنيّاً عديداً عدم التشبع Polyunsaturated.

والاحماض الدهنية المشبعة تزيد من نسبة الكوليسترول فى الدم، بينما الأحماض الدهنية غير المشبعة تقلل من نسبة الكوليسترول فى الدم، ويسبب ارتفاع نسبة الكوليسترول مخاطر صحية عديدة.

وأهم الاحـمـاض الدهنيـة التى تدخل فى تكوين الدهون هى حامض الاستيـاريك $C_{17} H_{35} CooH$ (Satearic) وحامض البالمتيك $C_{15} H_{31} CooH$ (Palmitic) وحامض الأوليـيك $C_{17} H_{33} CooH$ (Oleic).

وتمثل الدهون حـوالى ١٥٪ من وزن الرجل وحـوالى ٢٠٪ من وزن المرأة، ويخـزن حوالى ٥٠٪ من الدهون تحت الجلد وتوجد كعازل Insulator حول الاعضاء المهمة فى الجسم وهى تلعب دوراً مهمّاً فى احتفاظ الجسم بدرجة حرارته ثابتة ويلعب دوراً مهمّاً ايضاً فى نقل الڤيتامينات التى تذوب به. وتعتبر الدهون مصدرا مهمّاً من مصادر الطاقة فى الجسم، وهى تعطى للطعام طعماً ورائحة مستحبة وتؤخر الشعور بالجوع.

الليسيثين Lecithin:

من الدهون المفسفرة فى الجسم phospholipids، وهو يلعب دوراً حيوياً للخلية؛ حيث يدخل فى تكوين غشاء الخلية Cell membrane، وهو يستخدم كمستحلب، حيث من المعلوم ان الدهون والماء لايمتزجان ولكن المستحلب يستطيع أن يكسر حبيبات الدهون إلى حبيبات صغيرة لتكون مع الماء محلولاً متجانساً، ويستطيع أن يحتفظ بالدهون فى صورة سائلة فى الدم، وهى من الوظائف المهمة له، ويستخدم صناعيا كمستحلب فى انواع السلاطات، ويقوم الكبد بتصنيع الليسيثين. وإذا وجد فى الطعام بكثرة فإنه يقلل من الشهية، ويسبب مشاكل اخرى للجسم.

الكوليسترول Cholestrol $C_{27} H_{46} 0_6$:

يوجد الكوليسترول فى جميع خلايا الجسم الجسم والمخ والجهاز العصبى والعضلات والجلد والكبد والقلب والامعاء، ويستخدم فى تكوين العصارة الصفروايةالتى تلعب دوراً مهمّاً فى هضم الدهون، ويدخل أيضاً فى تكون الهرمونات الجنسية sex hormones وتكوين غشاء الخلية.

ويوجد الكوليسترول فى الاغذية ذات الأصل الحيوانى فقط مثل صفار البيض والكبد

والمخ، وهى تعتبر من مصادره الرئيسية ويوجد أيضاً فى اللحم والسمك واللبن وجميع منتجاته.

ويحتاج الجسم من الكوليسترول إلى حوالى ٤٠٠ – ٥٠٠ ملليجرام/ اليوم، ويستطيع الكبد أن يقوم بتصنيع ٧٠٠ – ١٠٠٠ ملليجرام/ اليوم. ولذلك إذا كان الطعام يحتوى على كمية قليلة منه، فإن الكبد يقوم بتصنيع ما يحتاجه الجسم.

الشروط الواجب توافرها فى غذاء الإنسان:

١ – احتواؤه على كمية من البروتين كافية لإمداد الجسم بالأحماض الأمينية الضرورية.

٢ – احتواؤه على كمية من المواد العضوية مثل البروتين والدهون والكربوهيدرات.

٣ – احتواؤه على كمية كافية من الڤيتامينات للوقاية من أمراض عديدة.

٤ – احتواؤه على املاح معدينة.

٥ – احتواؤه على كمية كافية من الماء.

٦ – خلوه من أى مواد سامة أو ضارة بالجسم.

الهضم Digestion

الهضم هو عملية فسيولوجية معقدة تمر فيها المواد الغذائية، التى تدخل القناة الهضمية بتغييرات فيزيائية وكيميائية، حتى يحدث لها امتصاص وتمر إلى الدم والليمف. والتغيرات الفيزيائية عبارة عن طحن وخلط وإذابة المواد الغذائية، والتغيرات الكيميائية عبارة عن خطوات متتالية تمر بها المواد البروتينية والدهنية والكربوهيدراتية تحت تأثير الإنزيمات، حتى تصل إلى مواد بسيطة يستطيع الجسم امتصاصها.

ويمكن تقسيم الإنزيمات إلى ثلاث مجموعات:

١ – الإنزيمات المسئولة عن هضم البروتينات وتسمى بروتينيزس protenases.

٢ – الإنزيمات المسئولة عن هضم المواد الدهنية وتسمى الليبيزس Lipases.

٣ – الانزيمات المسئولة عن هضم المواد الكربوهيدراتية وتسمى كربوهيدريزس carbohydrases.

وتفرز الإنزيمات من الغدد الخاصة بها، وتدخل القناة الهضمية مع اللعاب والعصير المعدى والبنكرياسى والمعوى. والمواد الغذائية التى تحتوى على البروتين والدهون والكربوهيدرات، عبارة عن مواد معقدة لا تستطيع خلايا الجسم أن تستفيد منها، وهى على هذه الصورة. ولذلك لابد أن تتحول إلى صورة أبسط منها مثل الأحماض الأمينية والسكريات الأحادية والأحماض الدهنية، وتمر الفيتامينات والأملاح المعدنية دون أن يعتريها أى تغيير.

وتقوم القناة الهضمية بالوظائف الآتية: الإفراز والحركة والامتصاص.

* **الإفراز**: عبارة عن تكوين العصائر الهاضمة من الغدد الخاصة بها مثل: اللعاب والعصير المعدى والبنكرياسى والمعوى والصفراء.

* **الحركة**: عبارة عن حركة العضلات التى توجد بجدارها وحركة الطعام داخل القناة الهضمية.

* **الامتصاص**: يحدث امتصاص لنواتج الهضم خلال العشاء المخاطى المبطن للمعدة وجدار

الأمعاء الدقيقة، ولا تقوم أجزاء القناة الهضمية فقط بعملية إفراز secretion ولكن تقوم أيضا بعملية إخراج excretion مثل تكوين الصفراء وخروج بعض المعادن الثقيلة والمواد الإخراجية الناتجة من الهضم. وهذه العمليات جميعها تنظم عن طريق الجهاز العصبى المركزى والهرمونات. **وتتم عملية الهضم والامتصاص على المراحل الآتية:**

أولا: الهضم Digestion:

١ - الهضم فى الفم:

تبدأ عملية الهضم فى الفم، وذلك بطحن المواد الغذائية وتحويلها إلى جزيئات صغيرة وخلطها باللعاب وتحويلها إلى مضغة (بلعة غذائية)، ويبقى الغذاء فى الفم ١٥ - ١٨ ثانية، ثم يبلع عن طريق دفعه إلى البلعوم ثم المرئ عن طريق انقباض عضلات اللسان.

وتتم عملية الطحن عن طريق حركة عضلات الفك السفلى، عكس حركة الفك العلوى، وهذا يسمح للأسنان بتقطيع الطعام وطحنه وخلطه باللعاب ويصبح فى صورة سهلة البلع.

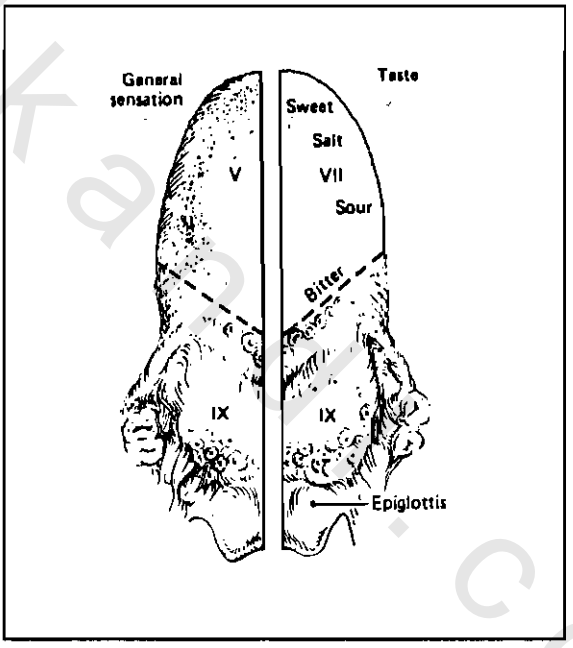
عند وجود الطعام بالفم يعتبر محفزا stimulus لمستقبلات التذوق، التى توجد فى الطبقة المخاطية باللسان، بينما تنتشر مستقبلات اللمس والحرارة والألم على الغشاء المخاطى المبطن للتجويف الفمى الداخلى، فترسل الإشارة إلى الألياف الواردة، وتصل إلى مراكز العصب المركزى فتحفز على إفراز اللعاب والعصائر الهاضمة.

أ - الغدد اللعابية:

وتتكون من ثلاثة أزواج تسمى تحت فكية (sublingual submaxillary) وغدد صغيرة عديدة، توجد على سطح اللسان وتفتح القنوات الخاصة بها فى التجويف الفمى. وتختلف مكونات اللعاب باختلاف الغدد؛ فمثلا الغدد تحت فكية يكون اللعاب بها لزجاً وذلك لاختلاف مكوناته من الميوسين والجليكوبروتين. والميوسين هو المسئول عن إعطاء المظهر المخاطى للعاب وعند تشبع الطعام منه يجعله سهل الابتلاع. ويحتوى اللعاب أيضا على كميات صغيرة من الجلوبيولين - الالبيومين - الأحماض الأمينية - كرياتينين - حمض البوليك - البولينا ومواد أخرى غير عضوية. وبصورة

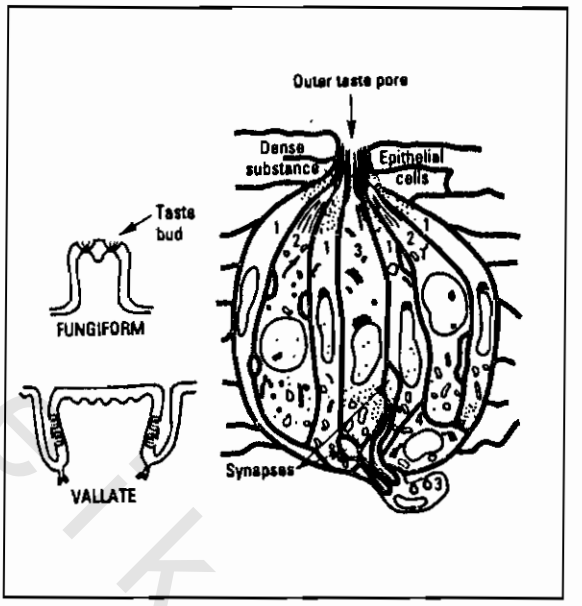
عامة فإن حوالى ٢ / ٣ اللعاب عبارة عن مواد عضوية و١ / ٣ املاح معدنية. ويختلف إفراز اللعاب تبعًا لنوع المادة الغذائية؛ فمثلا المواد الخشنة تحفز على إفراز كمية كبيرة منه، وهذا يوضح سبب افراز كمية كبيرة من اللعاب مع البقسماط عن الخبز، وكمية كبيرة مع مسحوق اللحم عن قطعة اللحم.

وتتراوح كمية اللعاب من ١٠٠٠ إلى ١٢٠٠ مللى لتر/ اليوم، وهو قلوى ضعيف وتتراوح درجة الأس الهيدروجينى له هى حوالى ٦٫٧ ويوقف نشاطه عن طريق الإفراز المعدى لأن الوسط يصبح حمضيا.



Sensory innervation of the tongue.
The numbers refer to cranial nerves.

ويحتوى اللعاب على انزيم الاميليز الذى يساعد على تكسير المواد الكربوهيدراتية فيعمل على تحويل النشا إلى دكسترين الذى يتحول بدوره إلى مالتوز وهو من السكريات الثنائية كما يوجد ايضا انزيم المالتيز الذى يقوم بتحويل المالتوز إلى جزئين من السكر الأحادى. وعلى الرغم من نشاط الانزيمات التى توجد باللعاب فإنها لا تستطيع تكسير كمية كبيرة من النشا؛ لأن الطعام يظل بالفم لمدة قصيرة.



Taste bud, showing type 1, 2, and 3 cells. (Shepherd GM: *Neurobiology*, 2nd ed. Oxford Univ Press, 1988).

ب – التأثير الانعكاسى:

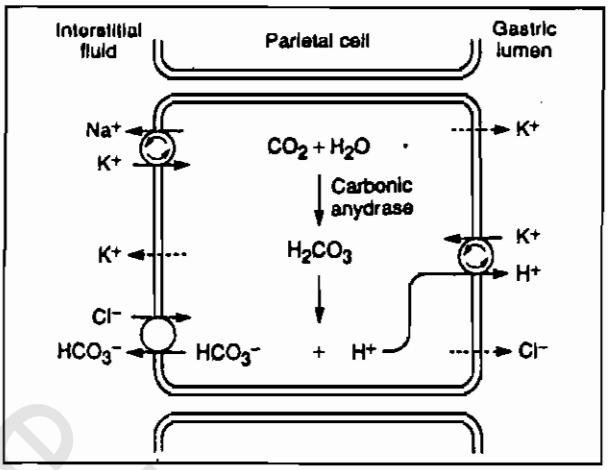
ينظم عملية إفراز اللعاب ما يسمى بالتأثير الانعكاسى (reflex) والمؤثر الذى ينبه لافرازه هو الطعام، فتتولد الإشارات العصبية نتيجة تأثير هذه المنبه على المستقبلات العصبية التى توجد فى الفم، وتصل من خلال العصب المثلث الوجوه trigeminal، والعصب البلعومى glosopharyngeal إلى منطقة النخاع المستطيل فى المخ، والتى يقع فيها المركز الخاص باللعاب. ونتيجة لذلك، تتولد إشارات كهربية صادرة إلى الغدد الخاصة بإفراز اللعاب فتقوم بإفرازه. وبعد ذلك يمر الطعام إلى البلعوم عن طريق حركة لا إرادية، ثم يمر بعد ذلك إلى المرئ وتبدأ عضلات المرئ فى الانقباض ودفع الطعام إلى المعدة.

٢ – الهضم فى المعدة:

عند دخول الطعام إلى المعدة يبقى بداخلها على شكل طبقات متتالية، حتى يمر

تدريجيا إلى الأمعاء. وتحدث فى المعدة عمليات كيميائية عن طريق العصير الذى تقوم بإفرازه الغدد المبطنة لجدارها المخاطى وتقوم الخلايا الجانبية بإفراز حمض الهيدروكلوريك. والعصير المعدى عبارة عن سائل عديم اللون حمضى؛ نتيجة لوجود حمض الهيدروكلوريك (٤-٥٪ من العصير المعدى) وتتراوح درجة الأس الهيدروجينى للمحلول النقى من العصير المعدى من ٠,٩ ٠ ١,٥، ولكن فى وجود الطعام يقل تركيز الحمض ويقع الأس الهيدروجينى بين ١,٥ - ٢,٥.

ويحتوى العصير المعدى على إنزيم البروتينيز الذى يحلل البروتين إلى عديدة الببتيدات وانزيم الليبيز الذى يحلل الدهون (ولكن الوسط غير مناسب له). والبروتينيز عبارة عن الببسين pepsine والجيلاتينيز gelatinase والرينين rennin (يعمل فى معدة الأطفال فقط نظراً لتعادل الوسط). ويعمل الببسين فقط فى الوسط الحمضى (PH:3.2-1.6) ويفرز فى صورة غير نشطة تعرف باسم الببسينوجين، ويتحول إلى الصورة النشطة نتيجة لتأثير حمض الهيدروكلوريك، وذلك عن طريق فصل مجموعة عديدة الببتيدات التى تحتوى على الأرجنين التى تثبط فعل الإنزيم، وبذلك يصبح فى صورة نشطة. ومن ناحية أخرى، فإن انزيم الجيلاتينيز يقوم بتكسير الجيلاتين الذى يوجد فى الأنسجة الضامة.



HCL secretion by parietal cells in the stomach. Active transport by ATPase is indicated by arrows in circles. H^+ is secreted into the lumen of the canalleui in exchange for K^+ by H^+ $^-K^+$ ATPase. HCO_3- is exchanged for Cl^- in the interstitial fluid by an antiport, and Na^+ - K^+ ATPase keeps intracellular Na^+ low. Dashed arrows indicate diffusion.

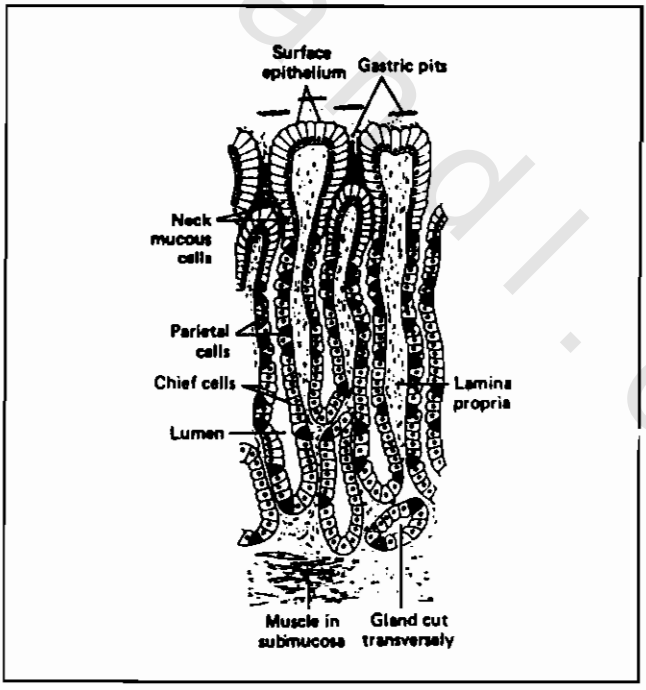
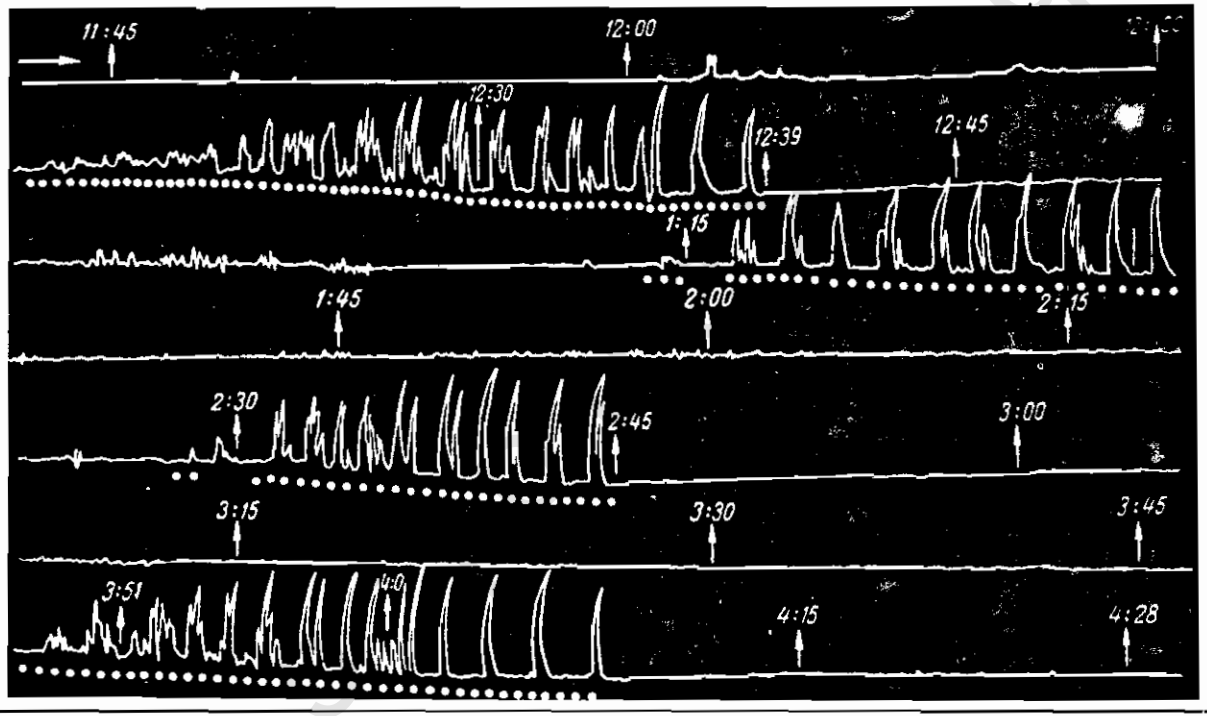


Diagram of glands in the mucosa of the body of the human stomach.

From Bell GH, Davidson N, Scarbrough G: Text - book of Physiology and Biochemistry, 6th ed. Living stone, 1965).



Recording of periodical motor activity of the stomach occurring with no digestion place (after U. N. Boldyrev) The tracings show four periods of activity alternating with long periods of rest. Each line is a continuation of the other tracings are read from left to right and from top to bottom. The white dots under the tracings indicats the periods of duodenal secretion.

والجدير بالذكر أن أنزيم الرينين هو المسئول عن تخثر اللبن عن طريق تحويل الكازينوجين إلى كازين (صورة غير ذائبة) فى وجود أيونات الكالسيوم.

ويلعب حمض الهيدروكلوريك دوراً مهمّاً فى الهضم بالمعدة حيث إنه:

١ – يساعد فى وجود وسط حمضى مناسب لدرجة نشاط الببسين القصوى.

٢ – يحول الببسينوجين إلى ببسين.

٣ – يغير من طبيعة البروتين (denaturation) فيساعد على انتفاخه وتحويله إلى صورة، تسهل من عملية تكسيره عن طريق الإنزيم.

٤ – يعمل على إذابة أجزاء العظام التى توجد فى الطعام وقتل البكتريا.

ولقد ظهرت نظريات كثيرة لتفسير كيفية تكوين حامض الهيدروكلوريك فى المعدة، أهمها ما يأتى:

١ – تبدأ عملية تكوين حامض الهيدروكلوريك فى الخلايا الجانبية بتفاعل الماء مع ثانى أكسيد الكربون فى وجود إنزيم الكربونيك أنهيدريز Carbonic anhydrase؛ فيتكون حامض الكربونيك الذى يتحلل إلى أيون أيدروجين موجب وأيون بيكربونات سالب، ثم يمر أيون البيكربونات السالب من الخلايا الجانبية إلى الدم، وينتقل فى مقابل ذلك من الدم إلى الخلايا الجانبية أيون الكلور السالب، الذى يتحد مع أيون الأيدروجين الذى سبق تكوينه من تحلل حامض الكربونيك، ويتكون بذلك حامض الهيدروكلوريك.

إنزيم كربونيك

يد$_٢$أ + ك أ$_٢$ ⟵ يد$_٢$ ك أ$_٣$

أنهيدريز

يد$_٢$ ك أ$_٣$ ⟵ يد$^+$ + يد ك أ$_٣^-$

أيون يد ك أ$_٣$ (من الخلايا الجانبية إلى الدم)

أيون الكلور (من الدم إلى الخلايا الجانبية)

يد + كل ⟵ يد كل (حامض هيدروكلوريك)

٢ – تبدأ عملية تكوين حامض الهيدركلوريد فى الخلايا الجانبية بتحلل الماء بواسطة طاقة كهربائية إلى أيون ايدروجين موجب، وأيون هيدروكسيل سالب – يمر ثانى أكسيد الكربون من الدم إلى الخلايا الجانبية ويتحد مع أيون الأيدروكسيد ليكون أيون البيكربونات السالب، ويساعد على هذا الاتحاد انزيم الكربونيك انهيدريز – ثم يمر أيون البيكربونات من الخلايا الجانبية إلى الدم، وينتقل فى مقابل ذلك أيون الكلور من الدم إلى الخلايا الجانبية. يتحد أيون الكلور هذا مع أيون الأيدروجين الذى سبق تكوينه من تحليل الماء ليعطى حامض الهيدروكلوريك.

طاقة

يد$_{٢}$ أ ⟵ يد + يدأ

كهربائية

انزيم كربونيك

يد أ + ك أ$_{٢}$ ⟵ يد ك أ$_{٣}$

انهيدريز

أيون يد ك أ$_{٣}$ (من الخلايا الجانبية إلى الدم)

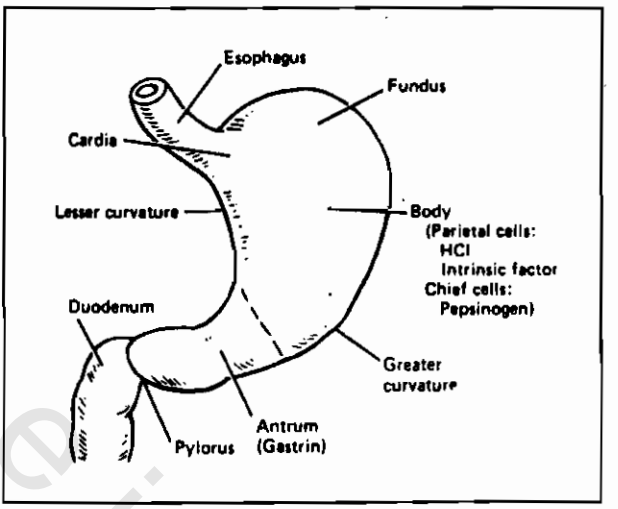
أيون الكلور (من الدم إلى الخلايا الجانبية)

يد + كل ⟵ يد كل (حامض هيدروكلوريك)

ويعضد العلماء هذه النظرية الأخيرة أكثر من غيرها من النظريات.

إن دخول الطعام إلى الفم أو رائحته أو تذوقه أو النظر إليه يحفز الخلايا على إفراز العصير من الخلايا الخاصة بها فى الجزء البوابى من المعدة، ويختلف العصير المعدى فى مكوناته وكميته تبعا لنوع الطعام. ومن التجارب التى أجريت على حيوانات التجارب أوضحت أن أكبر كمية من العصير تفرز فى حالة اللحوم، وكمية قليلة فى حالة الخبز واللبن، وتوجد فترة كمون (Latent period) بين الطعام المتناول وبداية إفراز العصير المعدى، وتختلف هذه الفترة باختلاف نوع الغذاء المتناول.

obeikandl.com



Anatomy of the stomach. The principal secretions are listed in parentheses under the labels indicating the locations where they are produced. In addition, mucus is secreted in all parts of the stomach. The dashed line marks the border between the body and the antrum.

يحتوى العصير المعدى الذى يفرز للحوم على كمية أكبر من حمض الهيدروكلوريك، بينما يحتوى العصير الذى يفرز للخبز واللبن على كمية كبيرة من الإنزيمات.. وتعمل الدهون على تقليل نشاط الغدد المعدية بعد تناولها، وتقلل من درجة حموضة العصير المعدى، وتزيد فترة الكمون، وتزيد من زمن الافراز. ويتم انقباض العضلات المبطنة لجدار المعدة لخلط الطعام ودفعه إلى الأمعاء الدقيقة بعد تحويل البروتين إلى عديدة الببتيدات.

وتتأثر حركة المعدة ببعض الهرمونات والمؤثرات الكيميائية مثل الجاسترين والهيستامين والكولين وبعض الأيونات مثل البوتاسيوم تساعد فى حركة المعدة، ولكن وجود الانتيروجاسترين والادرينالين والنورادرينالين والكالسيوم يقلل من حركة المعدة.

٣ - الهضم فى الأمعاء:

أ - الاثنى عشر:

بعد مرور الطعام من المعدة إلى الاثنى عشر، يختلط بالعصارة البنكرياسية والصفراء،

وفى عدم وجود الطعام يكون الوسط قاعدياً ضعيفًا، وعند دخول الطعام حيث يوجد بعضا من حامض الهيدروكلوريك يصبح حمضيا ثم يتحول إلى وسط قاعدى نتيجة لوجود أيونات البيكربونات.

العصارة البنكرياسية هى سائل شفاف عديم اللون قاعدى؛ نظرا لوجود البيكربونات ويقع الأس الهيدروجينى بين ٧,٨ إلى ٨,٤.

تحتوى العصارة البنكرياسية على عديد من الإنزيمات مثل التربسين والكيموتربسين (الخاصة بتحلل البروتين) والكربوكسى ببتيديز والامينوببيتيديز (تساعد على تحلل الأحماض الأمينية عند النهايات الأمينية والكربوكسيلية). هذا ويعمل إنزيم الليبيز على تحلل الدهون، بينما يقوم انزيم الاميليز بتحويل الكربوهيدرات إلى مواد ثنائية التسكر والمالتيز (تحويل المالتوز إلى جلوكوز) واللاكتيز (تحويل اللاكتوز إلى جلوكوز) والنيوكليز (خاص بالأحماض النووية).

ويتحول التريبسينوجين (صورة غير نشطة) إلى تريبسين عن طريق الانتيروكينيز الذى يساعد على فصل ٦ أحماض أمينية مرتبطة به؛ فيتحول إلى الصورة النشطة، ثم يقوم التربسين بتنشيط الكيموتربسينوجين. وبفضل فعل التربسين والكيموتربسين، يتحول البروتين إلى عديدة الببتيدات الكربوكسيلية والأمينية. وتتحول الدهون إلى أحماض دهنية وجلسرين عن طريق الليبيز، ويسهل من ذلك أملاح الصفراء.

ويقوم إنزيم الكربوكس ببتيديز بتحويل عديدة الببتيدات الكربوكسيلية إلى ثنائية الببتيدات يبدأ إفراز العصير البنكرياسى بعد ٢ – ٣ دقائق من تناول الوجبة، وتختلف مكوناته من الانزيمات باختلاف نوع المواد الغذائية.

يصل الإفراز إلى أقصاه بعد حوالى ساعتين من تناول اللحوم، وبعد ساعة من تناول الخبز، وبعد ثلاث ساعات من تناول اللبن. وكمية العصير التى تفرز فى حالة اللحم دون دهن تقدر بحوالى ١٥٠٪ من التى تفرز مع الوجبات التى تحتوى على دهون، كما أن تناول الأطعمة الدهنية لمدة طويلة تؤدى تدريجيا إلى النقص فى الإفراز البنكرياسى. هذا... ويزيد محتوى العصير البنكرياسى من الليبيز مع تناول الدهون، وتزيد كمية

الأميليز مع تناول الكربوهيدرات وتزيد كمية التربسين مع تناول البروتينات وهكذا. ويعتمد إفراز العصير البنكرياسى على عاملين أساسيين هما: الجهاز العصبى والهرمونات.

* **العصارة البنكرياسية:**

تحدث إثارة وإفراز للعصير البنكرياسى عن طريق النظر ورائحة الطعام ومؤثرات أخرى مثل مضغ الطعام والبلع تؤدى إلى إثارة المستقبلات الموجودة فى الفم والمرئ؛ مما يؤدى إلى الإفراز (التأثير الإنعكاسى) عن طريق الومضة العصبية التى تتولد من هذه المستقبلات والتى تصل إلى مركز العصب الخاصة بإفراز العصارة البنكرياسية، التى توجد فى منطقة النخاع المستطيل ثم تمر الومضة بالاستجابة عن طريق العصب الحائر إلى غدة البنكرياس فيبدأ فى الإفراز.

وأيضا دخول محلول حمض الهيدروكلوريك أو العصارة المعدية إلى الاثنى عشر تعمل كمحفز قوى لإثارة البنكرياس على الإفراز؛ لأنه يؤثر على الخلايا المبطنة للاثنى عشر، فتفرز مادة تعرف باسم السكرتين (secretin) والتى تحمل بواسطة الدم إلى الخلايا البنكرياسية، فتقوم بتنشيطها. والصورة غير النشطة للسكرتين تعرف باسم البروسكرتين pro-secretin، وتتحول إلى الصورة النشطة عن طريق تأثير الأحماض الدهنية، وبالإضافة إلى السكرتين يوجد أيضا هرمون البنكريوزيمين Pancreozymin الذى يحفز على إفراز الإنزيمات، ويوجد انزيم التربسين فى صورة غير نشطة تعرف باسم تربسينوجين trypsinogen، ويتحول إلى الصورة النشطة عن طريق الانتيروكينيز الذى يفرز من خلايا المعدة.

* **العصارة الصفراوية:**

يفرز الكبد العصارة الصفراوية، وتقوم بالوظائف الآتية:

١ – تزيد من نشاط بعض الإنزيمات التى تفرز من البنكرياس؛ وخاصة إنزيم اللاكتيز الذى يزيد من نشاطه حوالى ٢٠ مرة نتيجة لوجود العصارة الصفراوية.

٢ – تعمل على تصبن الدهون مما يسهل تكسيرها وامتصاصها.

٣ – تساعد فى حركة الأمعاء الدقيقة ودخول العصارة البنكرياسية إليها.

ومن ناحية أخرى.. فإن الوظيفة الأساسية للمرارة هى تحليل وتمثيل الدهون، وأى ضرر يصيب المرارة يسبب عرقلة فى أيض الدهون. ويفرز من العصارة المرارية فى اليوم حوالى ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ مللى لتر عن طريق خلايا الكبد، ولكن دخولها إلى القناة المرارية ثم الأمعاء يحدث فقط بعد دخول الطعام إلى المعدة والأمعاء، وفى عدم وجود الطعام تخزن فى الحوصلة المرارية.

وتختلف العصارة المرارية التى تدفع من القناة الكبدية فى مكوناتها وخواصها، عن تلك التى تخزن فى الحوصلة المرارية؛ فمثلا الأولى عبارة عن محلول شفاف لونه أصفر فاتح، والأخيرة لونها غامض يميل إلى السواد وأكثر سمكا، وتحتوى على مواد صلبة وهذا نتيجة خلطها بالسائل المخاطى الذى تفرزه الطبقة المخاطية للحوصلة المرارية.

وتتكون العصارة الصفراوية من أحماض وصبغات، وتحتوى على الليسيثين والكوليسترول والدهون، والميوسين الذى يفرز عن طريق العشاء المخاطى المبطن للحوصلة المرارية، وبعض الأملاح غير العضوية، ولا تحتوى على إنزيمات، وتحتوى أيضًا على حامضين هما الجليكوكولك والجليكوكوليك glycocholic - glycocholeic. أما الصبغات الموجودة فهى عبارة عن البليروبين والبليفردين Bilirubin - Biliverdine والبليفردين ناتج من تأكسد البيلروبين، ويتكون البيليروبين من الهيموجلوبين المنطلق من تكسير كرات الدم الحمراء (١ جم من الهيموجلوبين ينتج حوالى ٤٠ مللى جرام من البيليروبين)، وتوجد بعض الهرمونات تحفز على إفراز العصارة المرارية من الكبد مثل الجاسترين والسكرتين، عن طريق التأثير المباشر على الخلايا التى تقوم بالإفراز.

وقد وجد أن مادة الكوليسيستوكينين cholecystokinin التى تتكون فى الاثنى عشر نتيجة تأثير حمض الهيدروكلوريك والأحماض الدهنية ومواد أخرى، تساعد على انقباض الحوصلة المرارية وتفريغ محتوياتها اثناء عملية الهضم.

ب - الهضم فى الأمعاء الدقيقة:

يحتوى الغشاء المخاطى المبطن للأمعاء الدقيقة على غدد داخلية تفرز العصير المعوى، وهو سائل عديم اللون قاعدى غير شفاف؛ نظرًا لاحتوائه على خليط من المخاط وبعض الخلايا المبطنة وبلورات من الكوليسترول وكلوريد الصوديوم، وكمية قليلة من

الكربونات. وتحتوى العصارة المعوية على انزيمات خاصة بهضم الكربوهيدرات والدهون وبقايا البروتين التى حدث لها هضم فى المعدة والاثنى عشر، والصورة النهائية للبروتين هى الأحماض الأمينية، وذلك عن طريق الامينوببتيديز والدايببتيديز Amino peptidase and dipeptidase ، يقوم النيوكليز بهضم الاحماض النووية، وتحتوى أيضًا على الاميليز والليبيز، ولكن فى صورة قليلة النشاط. وتتحول المواد ثنائية التسكر إلى أحادية التسكر عن طريق الانزيمات الخاصة بها: **فمثلا**:

* سكر الشعير (المالتوز) يتحلل عن طريق إنزيم المالتيز.
* سكر القصب (السكروز) يتحلل عن طريق إنزيم الانفرتيز Invertase أو السكريز.
* سكر اللبن (Lactose) يتحلل عن طريق إنزيم اللاكتيز.

والنقص فى هذه الإنزيمات يسبب إسهالاً وانتفاخًا بعد تناول السكريات. ويحدث الإسهال نتيجة لزيادة النشاط الاسموزى للسكريات الباقية فى تجويف الأمعاء؛ مما يسبب زيادة فى حجم محتويات الأمعاء. وتوجد فى القولون البكتريا التى تعمل على تكسير السكريات (oligosaccharides) مما يسبب زيادة فى الضغط الأسموزى والانتفاخ؛ نتيجة إنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون والهيدروجين من جزيئات ثنائية التسكر المتبقية فى الأمعاء والقولون..

يحدث افراز للعصير المعوى عن طريق مؤثرات كيميائية مثل العصير المعدى أو مؤثر ميكانيكى، وذلك عن طريق الجهاز العصبى الطرفى الذى يؤثر على الخلايا العصبية، التى توجد فى جدار الأمعاء فتحثها على الإفراز، ومن هنا نجد أن الجهاز العصبى المركزى ليس له دور فى افراز العصير المعوى. ويوجد ايضا هرمون الانتيروكرينين enterocrinin الذى يساعد فى عملية الإفراز.

٤ - التغيرات التى تحدث فى الأمعاء الغليظة:

يدخل الطعام الذى لم يحدث له امتصاص فى الأمعاء الدقيقة إلى الجزء الأول من الأمعاء الغليظة (الأعور) عن طريق صمام، يسمح بمرور الطعام فى اتجاه واحد فقط، ويبقى مغلقًا إذا لم تكن هناك عملية هضم، وبعد ٤ دقائق من تناول الوجبة يبدأ فى

الانفتاح بمعدل ٣٠ – ٦٠ ثانية، والمواد التى لم يحدث لها هضم هى الخضراوات والأنسجة السيليوزية. وتحتوى الأمعاء الغليظة على بكتريا فلورا (flora) التى تعمل على تخمر الكربوهيدرات وتحلل البروتين وبعض الأحماض الأمينية، التى لم يحدث لها امتصاص. ونتيجة لفعل البكتريا على المواد البروتينية تنتج مواد سامة مثل الاندول والاسكاتول والفينول، وإذا حدث لها انتقال إلى الدم، تحدث لها عملية إزالة السموم بالكبد (detoxification) . والجزيئات التى توجد بالأمعاء الغليظة سميكة بسبب امتصاص الماء. والأجزاء الصلبة من الإفراز المعدى مثل المخاط تلعب دورا مهمًّا فى تكوين البراز، وذلك عن طريق اتحاد الاجزاء غير المهضومة مع بعضها. ومكونات البراز عبارة عن: المخاط – بعض الأنسجة المبطنة – الكلوستيرول – صبغات المرارة (تعطى اللون للبراز) – الأملاح غير الذائبة – البكتريا – الطعام غير مهضوم (السيليلوز والكولاجين) . ومعظم المكونات غير آتية من المواد الغذائية، وهذا يفسر وجوده فى حالة الصيام.

ثانيا : الامتصاص (Absorption) :

يعرف الامتصاص على أنه مرور المواد المختلفة من الوسط الخارجى إلى الدم أو الليمف، عن طريق طبقة أو أكثر من الخلايا التى تكون غشاء بيولوجى. وهذه الأغشية هى: الطبقة المبطنة للجلد، والطبقة المخاطية المبطنة للأمعاء، والحوصلة المرارية، وجدار الحويصلات المرارية، والطبقة التى تغطى التجويف البريتونى.... وهكذا. ومعظم الأغشية البيولوجية شبه منفذة بمعنى أنها تسمح بمرور بعض المواد ولا تسمح بمرور مواد أخرى. والأغشية منفذة للمواد التى تكون محلولاً حقيقيًّا، وغير منفذة للمواد التى تكون محلولاً غرويًّا، وتسمح بنفاذ المواد فى اتجاه واحد فقط.

هناك مواد من الممكن أن تمتص عن طريق الجلد والمواد، التى تتطاير تمتص عن طريق الحويصلات الهوائية، والمواد التى تحقن تحت الجلد أو فى التجويف البريتونى يمكن أن تمتص وتمر إلى الدم أو الليمف.

ويعتبر الامتصاص الذى يحدث فى القناة الهضمية مهمًّا جداً؛ نظرا لأنه يمد الجسم بالمواد الغذائية اللازمة؛ حيث إن الامتصاص يحدث بصورة ضئيلة فى المعدة للأملاح

المعدنية والماء والكحوليات وأحاديات التسكر؛ ويحدث الامتصاص بصورة نشطة فى الأمعاء الدقيقة نظراً لكبر مساحة السطح الماص نتيجة لوجود الثنايا والخملات بأعداد كبيرة. ويتكون الغشاء الماص من خلايا مستطيلة دائرية الشكل مهدبة، قطرها حوالى ٨ ميكرون وتشاهد بالميكرسكوب العادى. وبالفحص بالميكرسكوب الإلكترونى وجد أن الأهداب عبارة عن زوائد خيطية طويلة (١-٣ ميكرون فى الارتفاع وحوالى ٠,٠٨ ميكرون فى القطر).

ويحدث الامتصاص عن طريق الترشيح filtration، والانتشار diffusion والقوة الأسموزية osmosis، ويعتمد الترشيح على الضغط الهيدروستاتيكى الذى يتولد نتيجة انقباض العضلات التى توجد فى الجدار.

والانتشار البسيط Passive iffusion هو عبارة عن عملية يتم فيها انتشار المواد أو الغازات، التى توجد فى المحاليل نتيجة لحركة جزيئاتها لتملأ حيزاً معيناً. وهذه الجزيئات دائما فى حركة عشوائية، وتنتشر المواد من المحاليل التى توجد فيها بتركيز أكبر إلى الأقل تركيزاً.

والانتشار النشط (Active diffusion): وفيه تنتقل المواد من الوسط الأقل إلى الوسط الأعلى تركيزاً وهذا يحتاج إلى طاقة (ATP).

القوة الاسموزية osmosis:

عند إذابة مادة معينة فى الماء فإن تركيز جزيئات الماء، تكون أقل من تركيزها فى محلول الماء النقى. وإذا وضع غشاء (يسمح بنفاذ الماء فقط ولا يسمح بنفاذ المادة المذابة) به مادة مذابة فى ماء نقى، نجد أن جزيئات الماء تنتقل من الوسط الأقل تركيزاً (الوسط الذى يوجد به تركيز أكبر من جزيئات الماء) إلى الوسط الأعلى تركيزاً (الذى يوجد به تركيز أعلى من المادة المذابة وتقل به جزيئات الماء). والعملية التى يتم فيها انتشار المادة المذيبة (الماء) إلى المنطقة التى يوجد فيها تركيز أعلى من المادة المذابة، التى لا يسمح لها الغشاء الفاصل بالمرور تسمى القوة الأسموزية. ومن الممكن أن تقف هذه العملية عن طريق ضغط يتولد فى المنطقة الأعلى تركيزاً يسمى الضغط الأسموزى.

١ - امتصاص البروتين:

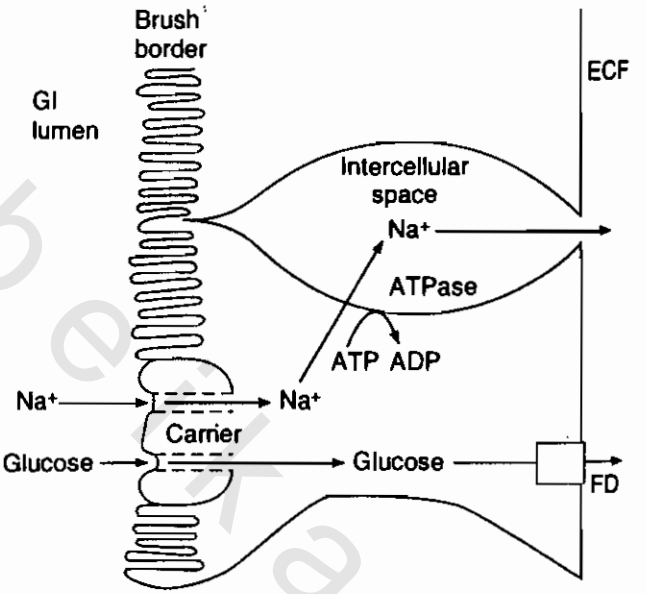
الاحماض الأمينية هى نواتج هضم البروتين فى القناة الهضمية، وهى الصورة الممتصة من الأمعاء الدقيقة.

٢ - امتصاص المواد الكربوهيدراتية:

الجلوكوز هو الصورة الممتصة من الأمعاء الدقيقة وأيضا الفركتوز والجلاكتوز. وتحدث عملية فسفرة للجلوكوز والجلاكتوز (بالاتحاد مع حمض الفوسفوريك) فى الجزء المخاطى من الأمعاء الدقيقة، وجود أى مادة سامة يمنع عملية الفسفرة ويقلل من عملية امتصاص الكربوهيدرات. وتتأثر هذه العملية أيضا بهرمون الأنسولين الذى يقلل من كمية الجلوكوز فى الدم.

ويتوقف امتصاص الجلوكوز على درجة تركيز أيون الصوديوم على سطح الخلايا المبطنة للأمعاء الدقيقة؛ حيث ثبت أن التركيز المرتفع منها يسهل من عملية الامتصاص والعكس صحيح.

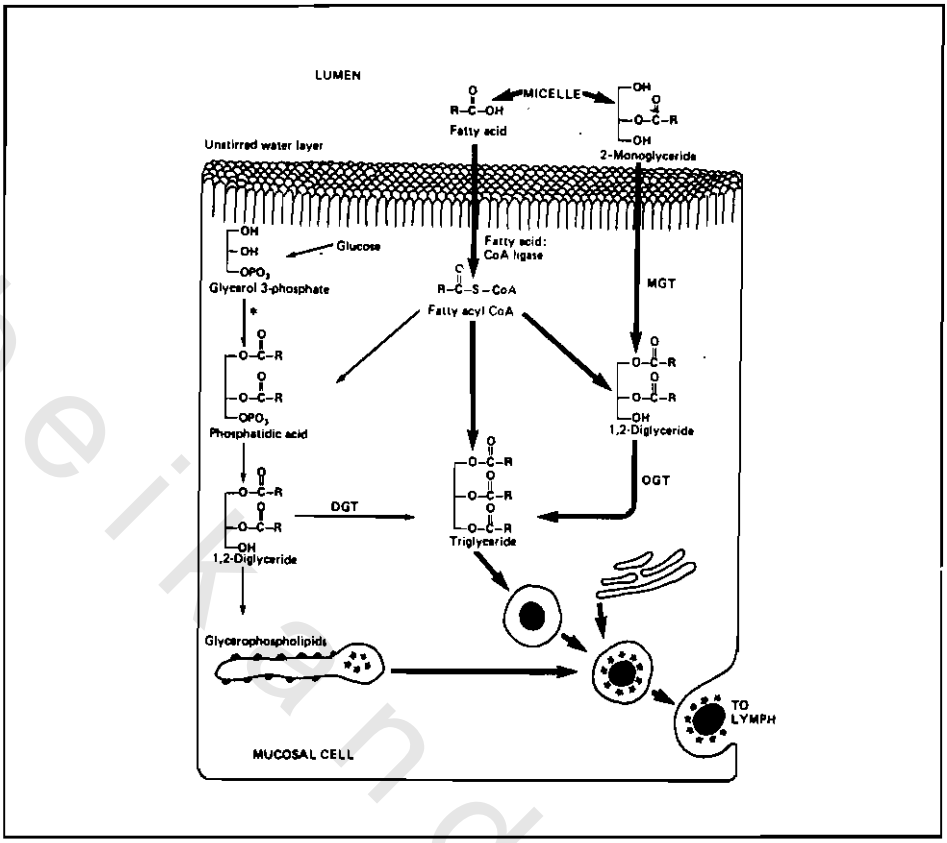
عندما يكون تركيز الصوديوم داخل الخلايا أقل من الخارج فيمر الصوديوم إلى الداخل نتيجة الفرق فى التركيز، ويتحرك الجلوكوز مع الصوديوم وينتشر فى الخلايا، ويمتص ١٠ جرام/ ساعة من الجلوكوز من جدار الأمعاء الدقيقة. وعند حدوث خلل فى امتصاص صوديوم/ جلوكوز مع بعضهما ينتج جلوكوز/ جلاكتوز؛ مما يسبب اسهالاً شديداً. وكما أن الصوديوم مهم فى الانتشار النشط للجلوكوز والاحماض الأمينية، فإن وجود الجلوكوز فى تجويف الأمعاء الدقيقة يسهل من إعادة امتصاص الصوديوم. وهذه العملية تساعد فى علاج فقد الماء والصوديوم، عن طريق الاسهال بواسطة إعطاء محلول يحتوى على الجلوكوز وكلوريد الصوديوم، وقد وجد أيضا أن الحبوب التى تحتوى على كربوهيدرات تساعد أيضا فى علاج الإسهال.



Mechanism for glucose transport across intestinal epithelium. Glucose transport into the intestinal cell is coupled to Na^+ transport, Utilizing a common carrier protein. Na^+ is then actively transported out of the cell, and glucose enters the interstitium by facilitated diffusion (FD) via GLUT 2. From there, it diffuses into the blood.

٣ - امتصاص الدهون :

يحدث تكسير للدهون ثلاثية الجليسرات، وتتحول إلى حبيبات من الدهون، وتحدث لها عملية تصبن عن طريق أملاح المرارة وتتكون الأحماض الدهنية. والدهون المتصبنة يحدث لها امتصاص بينما الدهون أحادية وثنائية الجليسرات المتكونة يحدث لها تحلل عن طريق انزيم الليبيز، وتمر من خلال الغشاء المبطن للأمعاء الدقيقة، وتدخل فى تكوين الدهون المفسفرة.



Lipid absorption. Triglycerides are formed in the mucosal cells from monoglycerides and fatty acids. Some of the glycerides also come from glucose via phosphatidic acid. The triglycerides are then converted to chylomicrons and released by exocytosis. From the extracellular space, they enter the lymph. Heavy arrows indicate major pathways. * reaction inhibited by monoglyceride; MGT, monoacylglycerol acyltransferase; DGT; diacylglycerrol acyltransferase.

In: Disturbances in Lipid and Lipoprotein Metabolism. Dietschy JM. Gotto AM Jr, Ontko JA (editors). American Physiological Society, 1978).

٤ - امتصاص الماء والاملاح المعدنية:

أ - امتصاص الماء:

الماء: يصل إلى القناة الهضمية يوميا حوالى ٢٠٠٠ مللى من السوائل بجانب ٧٠٠٠ مللى من الإفرازات من الأجزاء المخاطية من القناة الهضمية. ويحدث لحوالى ٩٨٪ من هذه الكمية إعادة امتصاص، ويفقد فقط ٢٠٠ مللى فى اليوم، ويسير الماء فى كلا الاتجاهين عبر جدار الأمعاء الدقيقة والأمعاء الغليظة لتنظيم الضغط الأسموزى.

هذا... ومن ناحية أخرى فإن مرور الصوديوم داخل أو خارج الخلايا يعتمد على الفرق الاسموزى، ومن الممكن أن تمتص عن طريق الانتشار النشط كما يحدث فى الأمعاء الدقيقة؛ لأنه مهم لتسهيل مرور الجلوكوز والأحماض الأمينية، و يسهل وجود الجلوكوز من إعادة امتصاص الصوديوم.

ب - امتصاص الأملاح المعدنية:

*** الكلور Chlor:**

يفرز الكلور إلى تجويف الأمعاء الدقيقة عن طريق الفتحات الخاصة به cl - channels التى تنشط عن طريق الادينيلات أحادى الفوسفات الدائرى CAMP (Cyclic AMP) وتسبب بعض البكتريا السامة تجمع AMP؛ مما يزيد إفراز أيون الكلور من غدد الأمعاء، وذلك يهبط من وظيفة الغشاء المخاطى لمرور الصوديوم، وبذلك يقل امتصاص كلوريد الصوديوم؛ مما يؤدى إلى زيادة الاليكتروليت والماء فى الأمعاء مما يسبب الإسهال.

*** محلول كبريتات الماغنسيوم Mg sulfate:**

يمتص بصعوبة ويساعد على اتزان الضغط الأسموزى بالأمعاء، وهو يعتبر ملينًا للأمعاء.

*** البوتاسيوم:**

يحدث امتصاص للبوتاسيوم potassium من خلال الغشاء المخاطى المبطن للقناة الهضمية بالانتشار، وممكن أن يحدث عن طريق فتحات خاصة به (K^+ - channels) فى القولون. وعند زيادة كمية البوتاسيوم فى الطعام يزيد إفراز هرمون الالدوستيرون.

*** الكالسيوم Calcium :**

يمتص حوالى ٣٠ إلى ٨٠٪ من الكالسيوم المأخوذ، ويحدث هذا فى الجزء العلوى من الأمعاء الدقيقة عن طريق الانتقال البسيط أو الانتقال النشط عن طريق دايهيدروكس كالسيفيرول dihydroxycalciferol، وهذا المركب ناتج من أيض فيتامين د فى الكلية. ومعدل زيادة هذا المركب مرتبطة بنقص محتوى البلازما من الكالسيوم؛ مما يزيد من

امتصاص الكالسيوم، ويقل عند زيادة الكالسيوم فى الدم. ويساعد وجود البروتين والفوسفات فى عملية الامتصاص، هذا وثبت أن وجود الأوكسالات يقلل من عملية الامتصاص؛ لأنها تكون أملاحاً غير ذائبة مع الكالسيوم.

* **الحديد Iron** :

يفقد الجسم كمية قليلة نسبيا من الحديد والكمية التى تخزن مرتبطة بالكمية الممتصة من الأمعاء. ويفقد الرجل حوالى ٠,٦ مج/اليوم، وتفقد النساء حوالى ضعف هذه الكمية. وتتراوح الكمية الممتصة من الحديد من ٣ إلى ٦٪ م الكمية المأخوذة. هذا ويمتص الحديد فى صورة ثنائية التكافؤ (الحديدوز Fe^{2+}). والصورة التى يوجد بها الحديد فى الطعام صورة ثلاثية التكافؤ (Fe3+ الحديديك)، ولا يحدث امتصاص للحديد فى المعدة، ولكن العصير المعدى يساعد على إذابة الحديد؛ ليكون مركبًا قابلاً للذوبان، ويتحد مع حامض الاسكربيك (Ascorbic acid) ؛ فتحدث له عملية اختزال، ويتحول إلى أيوم الحديدوز.

وتوجد بعض المركبات فى المواد الغذائية، التى تؤثر فى امتصاص الحديد مثل الفوسفات والاوكسالات، وبعض المواد التى توجد فى الحبوب (Phytic acid) والتى تتفاعل مع الحديد، وتكون فى الأمعاء الدقيقة مركبًا غير قابل للذوبان.

٥ - امتصاص الفيتامينات:

تمتص الفيتامينات التى تذوب فى الماء مثل فيتامين ج ومجموعة فيتامين ب بسرعة كبيرة؛ ولكن امتصاص الفيتامينات التى تذوب فى مذيبات الدهون (أ - A و د - D و ك - K و هـ - E) يقل إذا حدث نقص فى امتصاص الدهون بسبب نقص إنزيمات العصارة البنكرياسية أو إفراز المرارة. وتمتص معظم الفيتامينات فى الجزء العلوى من الأمعاء الدقيقة، ولكن فيتامين ب١٢ يمتص فى اللفائفى، وذلك باتحاده مع مركب بروتينى يفرز من المعدة (intrinsic factor)، ويكون مركبًا يمتص عن طريق الجزء المخاطى للفائفى.

بعض الظواهر المتعلقة بالجهاز الهضمى

أولا : الإحساس بالجوع والعطش:

أ – الإحساس بالجوع (Hunger) :

إن الإحساس بالجوع والعطش إحساس غير مستحب فى منطقة المعدة، وإن أى فراغ فى جزء صغير منها يسبب ألمًا، ويصاحبه غالبًا غثيان. وهذا الإحساس يحدث دوريا كل ٦٠ إلى ٩٠ دقيقة، ويستمر لمدة ١٥ – ٢٠ دقيقة. ويظهر عادة عندما تكون المعدة فارغة ما عدا حالات الجوع المرضى، الذى يكون مصحوبًا باضطراب فى جزء من المخ، وهذه الحالة تعرف باسم الشره المرضى.

والإحساس بالجوع مرتبط بمنطقة توجد فى الجهاز العصبى المركزى، تحتوى على مركز الطعام (food centre)، وخلايا هذا المركز توجد فى منطقة القشرة المخية cerebral cor-tex وفى النواة تحت القشرة subcortical nuclei وفى الهيبوثلامس hypothalamus ، وهذه المراكز تتحكم فى تناول الطعام والسلوك ونشاط القناة الهضمية؛ فمثلاً: تؤدى إثارة بعض هذه المراكز التى توجد فى منطقة الهيبوثلامس إلى طلب الطعام وإثارة مراكز أخرى تؤدى إلى رفض الطعام. وهذه المراكز تثار أو تهبط عن طريق المؤثرات، التى تصل إليها عن طريق المستقبلات الطرفية التى توجد فى القناة الهضمية، وعن طريق الهرمونات التى توجد فى الدم. وهناك نظريتان لشرح العملية الفسيولوجية للجوع:

* إن الإحساس بالجوع غير مرتبط بالأعصاب، ولكن يحدث عن طريق التغير فى المكونات التى توجد فى الدم وفى الأعضاء المختلفة من الجسم، ومنها الجهاز العصبى المركزى. ويتوقف هذا الإحساس عندما يحدث أيض للمواد الغذائية فى هذه الخلايا؛ فمثلاً يتوقف هذا الإحساس، عند دفع الجلوكوز للدم، وهذا يؤكد ويؤيد هذه النظرية.
* يعتبر الجوع شعوراً موضعيًّا تصل ومضاته إلى المخ عن طريق المستقبلات، التى توجد

فى القناة الهضمية، وأن النشاط الدورى للقناة الهضمية هو المسئول عن الإحساس بالجوع.

وفيما يتعلق بالنشاط الدورى للأعضاء التى تقوم بعملية الهضم (المهضمة) وعلاقتها بالجوع، فقد ثبت أن معظم الأعضاء التى تقوم بالهضم وخاصة المعدة والأمعاء تكون فى حالة نشاط، ليس فقط بعد تناول الطعام، ولكن أيضًا بين فترات الهضم ويحدث النشاط الدورى للحركة والإفراز فى أعضاء كثيرة، حتى عندما تكون المعدة فارغة. وقد وجد فى حيوانات التجارب أن زمن الانقباض الذى يحدث فى المعدة الفارغة، يحدث كل ٩٠ دقيقة ويستمر لمدة ١٥ – ٢٠ دقيقة، ويليه فترة من السكون (Latent period)، وهذه الحركة من المعدة والاثنى عشر والامعاء الدقيقة تكون مصحوبة بالافراز البنكرياسى والمعوى وهذا النشاط من الحركة والإفراز متلازمين ومصاحبين ببعض التغيرات، التى تحدث فى الجسم مثل التغير فى التنفس والدورة الدموية وإثارة الجهاز العصبى المركزى.

إن هذا التغير الذى يحدث فى حيوانات التجارب يحدث أيضا فى الإنسان، وتسمى انقباضات الجوع. والعوامل التى تمنع هذه الحركة تمنع أيضًا الإحساس بالجوع مثل التمارين العضلية العنيفة والإضراب عن الطعام لمدة طويلة، وهذا يوضح أن الصيام لعدة أيام يمنع الإحساس بالجوع (ماعدا ٣ أو ٤ أيام الأولى فقط).

خلاصة لذلك، فقد وجد من الأبحاث الفسيولوجية أن التغيرات التى تحدث فى مكونات وخواص الوسط الداخلي تؤثر على الهيبوثلامس (من الأجزاء الحساسة لأى تغير كيميائى فى الجسم).

وبهذا تعطى النشاط الدورى لأعضاء الهضم، وهذا النشاط يعطى ومضات عصبية من المستقبلات، التى توجد فى المعدة والأمعاء الدقيقة إلى الأجزاء الخاصة، التى توجد فى الجهاز العصبى المركزى فيسبب الإحساس بالجوع.

ب – الإحساس بالعطش (Thirst):

يحدث هذا الإحساس نتيجة لنقص كمية الماء فى الجسم وتناول كميات الكبيرة من

الأملاح أو فقد كمية من الماء (عن طريق العرق أو الإسهال)، ورد الفعل الفسيولوجى مع العطش هو تناول الماء، ويقف هذا الإحساس، عندما يحدث اتزان مائى واتزان اليكتروليتى فى الأعضاء. ويحدث الإحساس بالعطش نتيجة التأثير على مستقبلات خاصة (osmoreceptors) حساسة للارتفاع فى الضغط الأسموزى (نتيجة النقص فى كمية الماء) للأعضاء الداخلية، وتوجد فى منطقة الهيبوثلامس.

وقد وجد أن جفاف الفم والحلق مرتبط بظاهرة العطش، وأن بلل الفم بالماء يمنع الإحساس بالعطش، ولكن ليس بصورة كاملة. ويقف الشعور تمامًا عند حقن محلول ذات تركيز منخفض إلى الدم، أو دخول الماء إلى القناة الهضمية. ويرتبط الشعور بالعطش بانخفاض إفراز كمية اللعاب؛ مما يؤدى إلى جفاف الفم، وعندما تفقد الأنسجة الماء يقل إفراز كمية اللعاب ويبدأ الشعور بالعطش عندما تنخفض نسبة الافراز إلى حوالى ٢٠٪وتصبح غير محتملةعندما تصل إلى ٥٠٪.

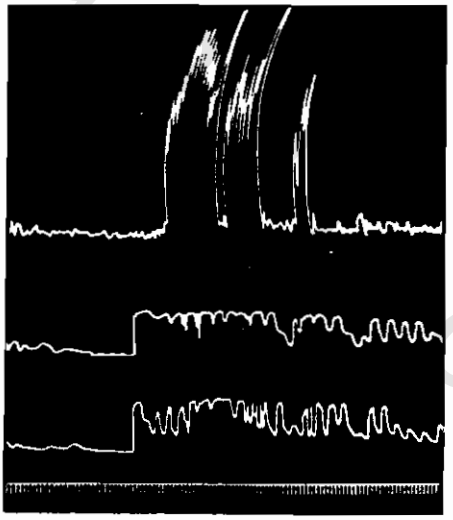
مما سبق.. فإن الشعور بالعطش هو نتيجة نقص كمية الماء فى الأنسجة، وأن تناول الماء يبقى الحالة الداخلية لهذه الأنسجة متزنة، وعندما يشعر الفرد بالعطش نتيجة لجفاف الفم والحلق.. فإن الومضات العصبية التى ترسلها المستقبلات تلعب دورا مهمًا فى ذلك؛ حيث إن الخلايا العصبية الخاصة بمستقبلات الضغط الاسموزى Osmorecep-tors تقع فى الهيبوثلامس، والتى تحتوى على مراكز اتزان الماء، وأن إثارة هذه المراكز تؤدى إلى انخفاض فى كمية الماء، التى تفقد عن طريق الاعضاء وانخفاض من افراز اللعاب، وهذا سبب الإحساس بجفاف الحلق.

وتوجد فى المخ مراكز تناول الماء مثل مراكز تناول الطعام، كما ان الشعور بالعطش يتحكم فيه هذا المركز، الذى يقع فى منطقة القشرة المخية ومنطقة تحت القشرة المخية، ويوجد فى الهيبوثلامس المركز الذى يتحكم فى اتزان الماء(water balance).

ثانيا : الغثيان Vomiting :

الغثيان هو عملية رد فعل عكسية (reflex) تحدث فى القناة الهضمية؛ نتيجة تأثير بعض المواد، مثل الابومورفين، والتأثير على بعض النهايات العصبية الحسية. ويحدث

عن طريق التأثير على الأعضاء المختلفة مثل اللسان والبلعوم والغشاء المخاطى المبطن للمعدة والامعاء الدقيقة، وعلى التجويف البطنى والرحم، وأيضاً عن طريق حاستى الشم والتذوق (تسبب الاشمئزاز)، ويبدأ الغثيان بانقباض عضلات الامعاء الدقيقة، وهذا يؤدى إلى إرجاع محتوياتها إلى المعدة. وتبدأ فى خلال ١٠-٢٠ ثانية عضلات المعدة فى الانقباض والانفتاح، ثم تحدث انقباضات عنيفة فى العضلات البطنية والحجاب الحاجز، وبهذا تطرد المعدة محتوياتها إلى المرىء ثم إلى الفم أثناء الزفير، ويؤدى انقباض العضلات إلى ارتفاع لسان المزمار إلى اعلى؛ فيمنع دخول الطعام إلى الانف، ويهبط لسان المزمار إلى أسفل ويفتح الفم. هذا والجدير بالذكر أن الاعصاب الواردة هى المسئولة عن هذه العملية؛ فتقوم بتوصيل المؤثرات إلى مراكز الغثيان فى النخاع المستطيل، ثم تقوم الأعصاب الصادرة (العصب الحائر والعصب الذى يغذى الاحشاء) بإثارة العضلات البطنية والحجاب الحاجز.



Tracings of vomiting movements (after E. Babșky) The upper tracings record gastric movements, the second tracings from the top, duodenal movements, the third tracings, the movements of the small intestine, the bottom line is the time-interval marker

الوظائف الرئيسية للكبد

يعتبر الكبد أهم عضو فسيولوچى فى جسم الفقاريات، ومن أهم وظائفه مايأتى:

١ – يعمل الكبد على بقاء نسبة سكر الجلوكوز فى الدم ثابتة. وتختلف هذه النسبة باختلاف الفقاريات؛ فيتراوح تركيز الجلوكوز فى دم الإنسان بين ٨٠ – ١٢٠ ملليجرام فى ١٠٠ سم من الدم. وإذا نقصت كمية الجلوكوز فى الدم عن ذلك، فإن جليكوجين الكبد يتحلل إلى جلوكوز، يدفع فى الدم لإعادة نسبة الجلوكوز إلى الحالة الطبيعية. ويتكون جليكوجين الكبد أساسًا من بعض الأحماض الأمينية (بعد إزالة الأمونيا منها) مثل حامض الجلوتاميك Glutamic، والسيستين Cystine، والالانين Alanine، والبرولين proline، والسيرين Serine، وحامض الاسبرتيك Aspartic، كما يتكون من جليسرين الدهون، ومن حامض اللاكتيك lactic acid، والبيروفيك pyruvic اللذان يتكونان فى العضلات نتيجة لعملية تحلل جليكوجين العضلات، ومن الفركتوز والجالكتوز الممتصين من الامعاء. أما الجلوكوز الذى ينتج من هضم كربوهيدرات الطعام، فإنه يسير من جدار الامعاء إلى الدم مارًّا بالكبد، ومنه إلى بقية اجزاء الجسم فتأخذ منه الانسجة حاجتها لعمليات التأكسد، ويتحول مازاد عن ذلك فى العضلات إلى جليكوجين يترسب بها، وإذا زادت كمية الجلوكوز كثيرا فإنه يتحول إلى دهون تختزن تحت الجلد، وحول الأحشاء وبين الخلايا.

ولذلك تزيد كمية الجليكوجين فى العضلات بعد تناول طعام غنى بالكربوهيدرات، وأما الزيادة فى كمية الجليكوجين فى الكبد التى تلاحظ بعد تناول طعام غنى بالكربوهيدرات، فإنها لاترجع إلى تحول جلوكوز الطعام إلى جليكوجين فى الكبد، بل ترجع إلى احتفاظ الكبد بما يتكون فيه من الجليكوجين؛ إذ إن الدم أثناء عملية امتصاص الغذاء يكون غنيا بالجلوكوز، فهو ليس فى حاجة إلى تحلل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز، كما يحدث بعد انتهاء عملية الامتصاص، ويحوى كبد الإنسان الصحيح

١٠٠ جرام جليكوجين، فى حين أن عضلاته تحوى ٢٥٠- ٣٥٠ جرام جليكوجين.

ويتم تحول جليكوجين الكبد والعضلات إلى جلوكوز بعملية الفسفرة Phosphorolysis، التى تشبة عملية التحلل المائى hydrolysis، ولكن بدلاً من إضافة الماء يضاف حامض الفسفوريك. ويتم ذلك بواسطة إنزيم الفسفوريليز phosphorylase فى وجود ثلاثى فوسفات الأدينوسينadenosine triphosphate كمصدر للفسفور.

وينشط هرمون الأدرينالين هذا التحول بالعمل على زيادة تركيز الإنزيم.

٢ - للكبد أهمية كبيرة فى هضم وأيض المواد الدهنية، وقد سبق أن تكلمنا عن أهمية الصفراء فى هضم المواد الدهنية، وأن أكسدة الاحماض الدهنية تحدث فى الكبد بما يعرف بالتأكسد البائى B-oxidation.

وينتج من هذا التأكسد حامض الاسيتواسيتيك وحامض البيوتيريك بائى الهيدروكسيد والأسيتون، وهو من النواتج الطبيعية لأكسدة الأحماض الدهنية فى الكبد، وتنتقل هذه المواد من الكبد إلى العضلات والكلية؛ حيث يتم تأكسدها إلى ثانى أكسيد الكربون وماء. وفى حالة مرضى السكر diabetes mellitus يعتمد الجسم اعتماداً كبيراً على تأكسد الدهون؛ فتتكون هذه المواد بكميات كبيرة، لاتستطيع انسجة العضلات والكلية أكسدتها جميعًا، فتظهر فى الدم والبول.

٣ - يتم فى الكبد أيض الأحماض الأمينية بنزع الأمونيا منها deamination ، كما يتم بالكبد تحويل الأمونيا إلى مواد إخراجية كالبولينا فى حالة الثدييات.

وأغلب الامونيا المتكونة تتحول فى الكبد ايضا إلى مواد اخراجية أزوتية، وجزء صغير منها يتحد بحامض الجلوتاميك glumatic acid ؛ ليكون جلوتامين glutamine، ويعمل الجلوتامين كمخزن للأمونيا، يرجع إليه الجسم عند حاجته إليها، مثل تكوين الأحماض الأمينية غير الأساسية.

٤ - يتم فى الكبد تكوين بعض البروتينات اللازمة للجسم، فمثلاً يتكون بها

الفيبرينوجين fibrinogen، والبروثرمبين prothrmbin اللازمين لتكوين الجلطة الدموية. كما يتكون بها البيومينات البلازمية، وهذه البروتينات بعد تكوينها فى الكبد تنتقل إلى بلازمة الدم.

٥ - تتحول فى الكبد بعض المواد السامة بالجسم إلى مواد غير سامة detoxication تفرز فى البول؛ فمثلاً تعمل بكتريا الأمعاء الغليظة على تحويل بعض الأحماض الأمينية إلى مواد سامه.

التيروسين Tyrosine ← كريزول Cresol ← فينول phenol

التريبتوفين tryptophane ← (بكتريا الامعاء الغليظة) اندوكسيل indoxyl

فالفينول والاندوكسيل مواد سامة جدا للجسم، فعندما يحملها الدم من الامعاء إلى الكبد، فإن هذه المواد إما أن تتحد بحامض الكبريتيك الذى يوجد فى الكبد لتكون مايعرف بالكبريتات الطيارة etherial sulphate، أو تتحد بحامض الجلوكورنيك لتكون فى حالة الفينول مثلا فينول الجلوكورنيك phenylglucuronide ، وهذه مواد غير سامة يحملها الدم من الكبد إلى الكليتين حيث تفرز فى البول.

وكذلك تتأكسد بالكبد بعض المواد السامة كالسينيدات إذا كانت بكميات قليلة، وتتحول إلى ثيوسانيت thiocyanate ، وتفرز هذه فى البول أو فى اللعاب.

وكذلك تعمل بعض الأحماض الامينية على تعادل السموم فى الكبد؛ فمثلاً الحمض الأمينى جليسين glycine يتحد بحامض البنزويك benzoic السام، الذى يمتص من الأمعاء من بعض الأغذية الخضراء، أو الذى يتكون فى الجسم من عمليات التحول الغذائى ليكون حامض الهيبوريك الذى يفرز فى البول.

جليسين + حامض بنزويك ← حامض هيبوريك

وتحدث عملية التعادل هذه كاملة فى الكبد السليم. وتستعمل هذه الحقيقة لاختبار

صحة الكبد بأن يحقن فى الوريد كمية معينة من حامض البنزويك، ثم تقدر كمية حامض الهيبوريك فى البول؛ ففى الكبد الصحيح تكون كمية حامض الهيبوريك المتكونة معادلة لكمية حامض البنزويك التى حقنت بالجسم.

٦ – يتخلق فى الكبد الأحماض الامينية غير الأساسية؛ أى التى لايتحتم توفرها فى الغذاء البروتينى– كما يتم بالكبد تحول بعض الأحماض الأمينية إلى بيورين (purine) وبيريميدين (pyrimidine) وفوسفات الكرياتين (Creatine phosphate).

٧ – يعمل الكبد كمخزن للفيتامينات وخصوصا فيتامين أ،د، ويحوى الكبد فى التغذية الصحيحة أيضاً كميات كبيرة من الريبو فلافين وحامض النيكوتينك وحامض الاسكربيك، والتو كوفيرول. ولذلك فإن امراض الكبد يصحبها عادة أعراض نقص هذه الفيتامينات.

٨ – درجة حرارة الكبد تكون عادة أعلى بقليل من درجة حرارة الجسم؛ ولذلك فإن الكبد يعمل على تنظيم حرارة الجسم.

٩ – يحوى الكبد كمية كبيرة من الحديد، الذى يحتاجه الجسم فى تكوين الهيموجلوبين.

١٠ – يحوى الكبد حوالى ٢٠٪ من كمية الدم بالجسم؛ ولذلك قد يعمل الكبد كمخزن للدم.

الأيض الغذائى وميزان الطاقة

Metabolism and Energy Balance

تعنى كلمة الأيض الغذائى التغير الكميائى للمواد الغذائية، وانتقال الطاقة الذى يحدث بالجسم. يحدث تأكسد للمواد البروتينية والكربوهيدراتية والدهون، وينتج ثانى أكسيد الكربون والماء والطاقة اللازمة للنشاط الحيوى بالجسم، وتنتج الطاقة أيضاً عند حرق المواد الغذائية خارج الجسم، والعملية هذه ليست بالعملية السهلة، ولاتتكون فى خطوة واحدة، ولكنها عملية معقدة تتم على مراحل متعددة وببطء، وتسمى هدم Catabolism ، والطاقة المنطلقة تخزن على هيئة مركبات فوسفورية. وتكوين المواد الكربوهيدراتية والبروتينية والدهنية من المواد الأولية لها تمر بعملية، تسمى بناء anabolism وتستخدم فيها الطاقة المختزنة.

اتزان الطاقة: هو عدم تولد طاقة ولا استهلاك طاقة أو بمعنى آخر وجود اتزان بين السعرات الحرارية المنتجة والمستهلكة. وإذا كان محتوى الطاقة فى الغذاء المتناول أقل من الطاقة المستهلكة يكون اتزان الطاقة سالبًا، وتستخدم الطاقة المخزونة فيحدث هدم للجليكوجين والبروتين والدهون، وبذلك يفقد الفرد جزءاً من وزنه، وإذا كانت كمية الطاقة فى الغذاء المتناول أكبر من الطاقة المفقودة على هيئة حرارة أو عمل يقوم به الفرد، وبالتالى فإنها تخزن ويكتسب الفرد وزنًا زائداً، وهذا مايسبب السمنة بالجسم.

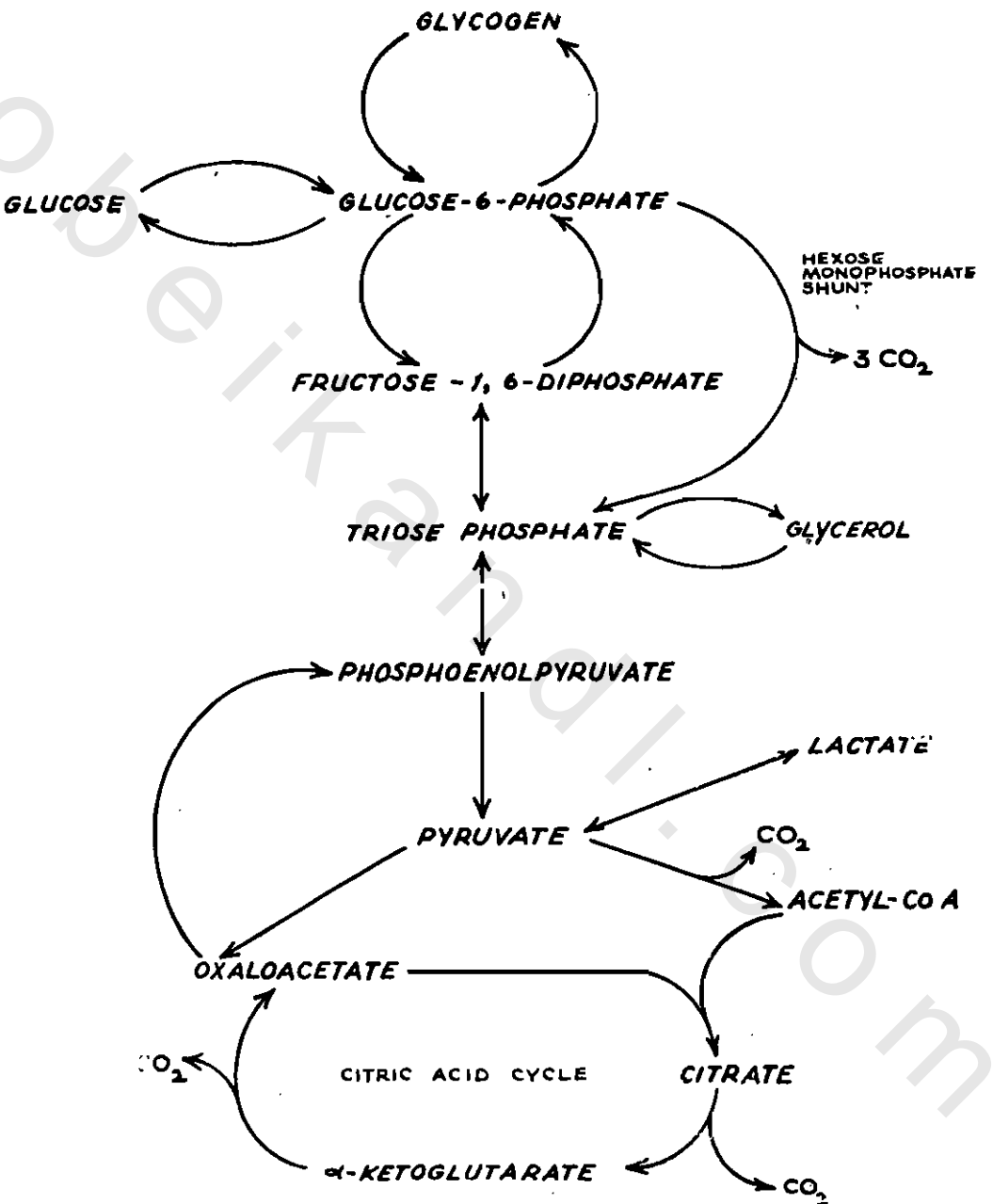
أولا : أيض المواد الكربوهيدراتية Carbohydarte Metabolism :

الكربوهيدرات عبارة عن جزيئات من السكر السداسى مثل الجلوكوز والجلاكتوز والفركتوز، والناتج الأساسى من هضم الكربوهيدرات والذى يمر إلى الدم هو الجلوكوز. وعند دخول الجلوكوز إلى الخلايا تحدث له عملية فسفرة (phosphorylase).

ويتحول إلى جلوكوز ٦- فوسفات، والإنزيم الذى يسهل من هذه العملية هو هكسوكينيز (hexokinase)، ويوجد انزيم آخر فى الكبد يعرف باسم جلوكوكينيز (glucokinase) وتزيد كميته فى وجود الأنسولين، ويقل فى حالة الصيام ومرض السكر.

ويتحول الجلوكوز ٦- فوسفات إلى جليكوجين عن طريق البناء أو إلى صورة أبسط عن طريق الهد،م والعملية التى يتكون فيها الجليكوجين تسمى glycogenesis، (وهى الصورة المختزنة للجلوكوز؛ وخاصة فى الكبد والعضلات الهيكلية) والعملية التى يتكسر فيها الجليكوجين تسمى glycogenolysis.

وتحويل الجلوكوز (هدم) إلى بيروفات أو لاكتات تسمى glycolysis، ثم يتحول البيروفات إلى استيل مرافق الإنزيم أ (Acetyl CoA) وهو يعتبر مركباً وسطاً بين الكربوهيدرات والبروتينات والدهون، ومن ذلك نجد إنه يمكن تحويل الجلوكوز إلى دهون عن طريق هذا المركب، ولايتم تحويل الدهون إلى جلوكوز؛ لأنها عملية غير عكسية.

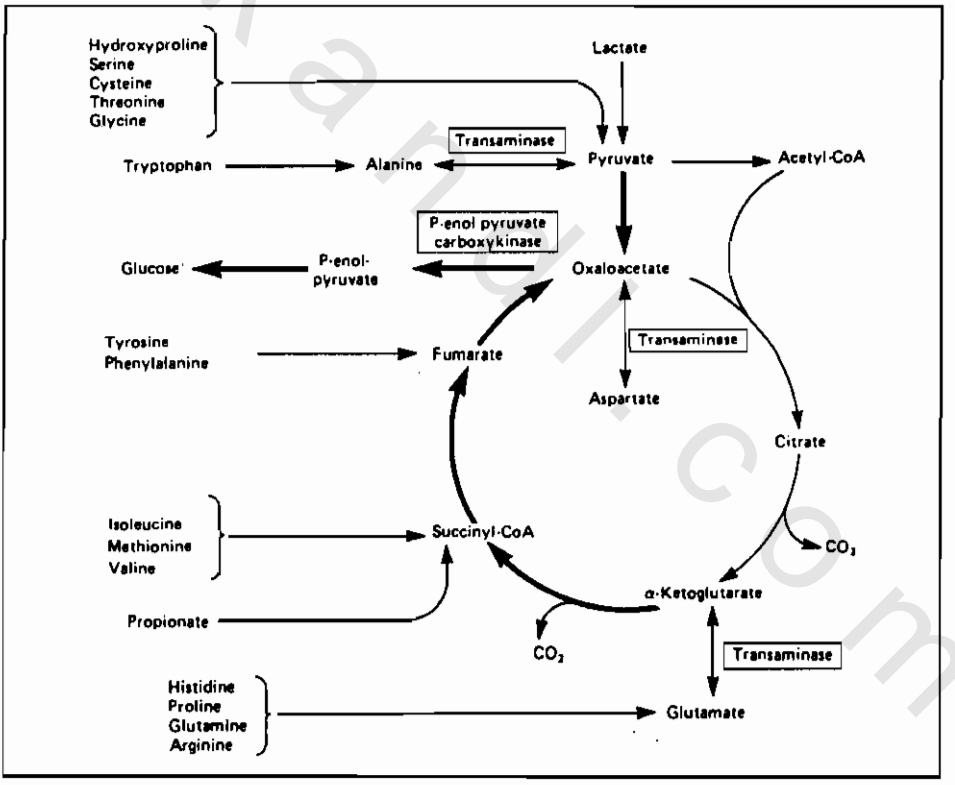


Major pathways of carbohydrate metabolism

دورة كربس أو الحمض ثلاثى الكربوكسيل أو دورة حمض السيتريك

: Krebs cycle, tricarboxylic acid cycle or citric acid cycle

يحدث فى هذه الدورة عدة مراحل من التفاعلات، التى عن طريقها يتحد الاستيل مرافق الإنزيم أ (يحتوى على ذرتين كربون) مع الأوكسالوأسيتات، والذى يحتوى على ٤ ذرات كربون، ويتكون السيترات. وفى ٧ مراحل متتالية تنفصل مجموعتان من ثانى أكسيد الكربون، ويعاد تكون الأوكسالوأسيتات مرة أخرى. ويتم انتقال ٤ أزواج من ذرة الهيدروچين إلى السيتوكروم، وينتج ١٢ جزيئاً من أدينوسين ثلاثى الفوسفات، و٤ جزيئات ماء (يستخدم منها جزئيان فى الدورة). وتعتبر هذه الدورة الرئيسية لأكسدة الكربوهيدرات والدهون وبعض الأحماض الأمينية. وتدخل الكربوهيدرات والدهون عن طريق الاستيل مرافق الإنزيم أ، ولكن الأحماض الأمينية عن طريق إزالة الأمونيا.



Involvement of the citric acid cycle in transamination and gluconeogenesis. The bold arrows indicate the main pathway of gluconeogenesis. Murray RK et al: Harper's Biochemistry, 23rd ed. Appleton & Lange, 1993.)

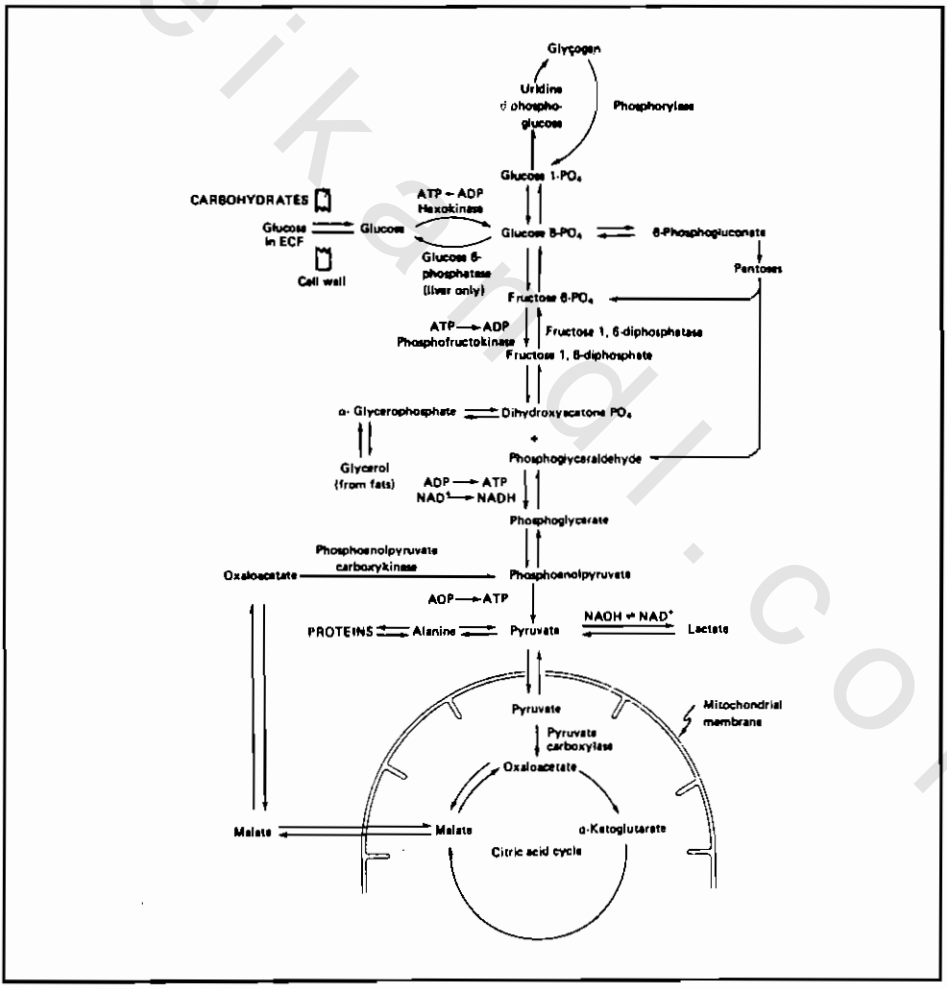
والأكسجين مهم جداً فى هذه الدورة ولاتحدث فى الظروف اللاهوائية وتحدث داخل الميتوكوندريا. هذا ويتم تحويل الجلوكوز إلى بيروڤات، تحت الظروف اللاهوائية، وتحدث خارج الميتوكوندريا.

وتحدث المرحلة اللاهوائية على ثلاث خطوات فى غياب الاكسجين:

١ – تحول الجليكوجين إلى سكر أحادى.

٢ – تحول السكر الأحادى إلى جزئين من السكر ثلاثى الكربون.

٣ – تحول السكريات ثلاثية الكربون إلى حامض بيروفيك.



Outline of the metabolism of carbohydrate in cells, showing some of the principal enzymes involved.

ثانياً : أيض البروتين Protein metabolism :

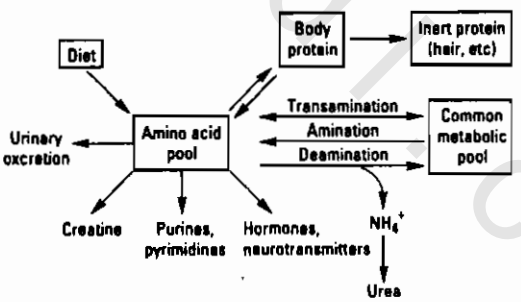
البروتين عبارة عن سلسلة من الأحماض الأمينية مرتبطة مع بعضها عن طريق رابطة ببتيدية، تربط بين مجموعة الامين لحمض مع مجموعة كربوكسيل للحمض الآخر.

يحدث للبروتين المتناول عملية هضم، ويمتص على صورة أحماض أمينية. وتحدث عملية تحلل، ثم إعادة بناء بروتين الجسم ذاته، وتتراوح نسبة تكسير البروتين فى اليوم حوالى من ٨٠ إلى ١٠٠ جرام/ اليوم، وتكون النسبة مرتفعة فى الغشاء المخاطى المبطن للامعاء. وتعتبر الأحماض الأمينية الناتجة من عملية الهضم مستودعاً يأخذ منه الجسم احتياجه. وفى اثناء النمو فإن الاتزان بين الأحماض الأمينية وبروتين الجسم يتجه إلى تكوين بروتين الجسم؛ أى بمعنى أن التكوين أسرع من الهدم. وتفقد كمية قليلة من البروتين فى البول والبراز.

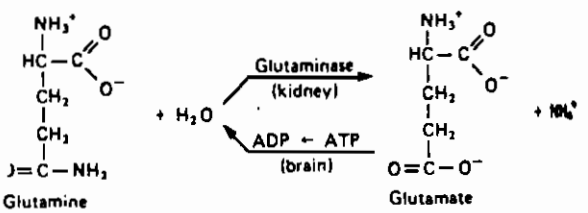
ويحدث تبادل بين الأحماض الأمينية ونواتج هدم الكربوهيدرات والدهون فى دورة كربس، وذلك عن طريق إزالة أو انتقال مجموعة الأمين (Transamination)، وينتج من ذلك تحويل حمض كيتونى إلى حمض أمينى، أو تحويل حمض أمينى إلى حمض كيتونى داخل الأنسجة.

$$\text{Alanine} + \alpha\text{ - ketoglutarate} \rightarrow \text{pyruvate} + \text{glutamate}$$

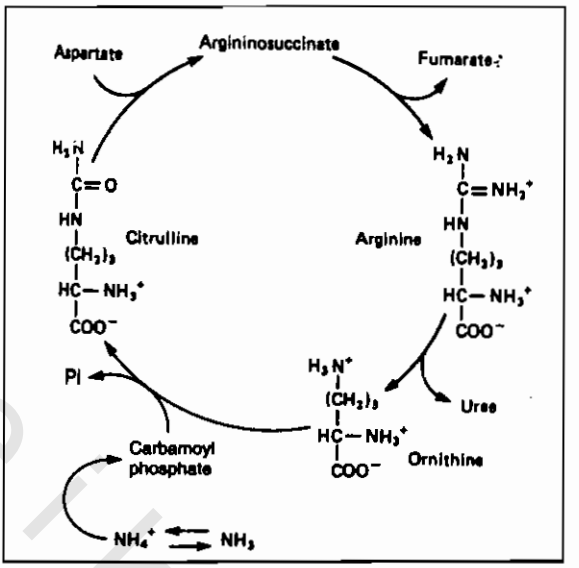
آلانين + كيتوجلوتاريت ← بيروفات + جلوتامات



Amino acid metabolism



$$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$$



Urea cycle

وتتحول الأمونيا الناتجة من عملية إزالة مجموعة الأمين الى بولينا تخرج مع البول.

ومن ناحية أخرى، تتحول الأمونيا إلى كربامويل فى الميتوكوندريا، ثم تتحول إلى أرنثين ثم سترولين الذى يتحول إلى أرجنين تنفصل منه البولينا، ويعاد تكوين الارنثين مرة أخرى.

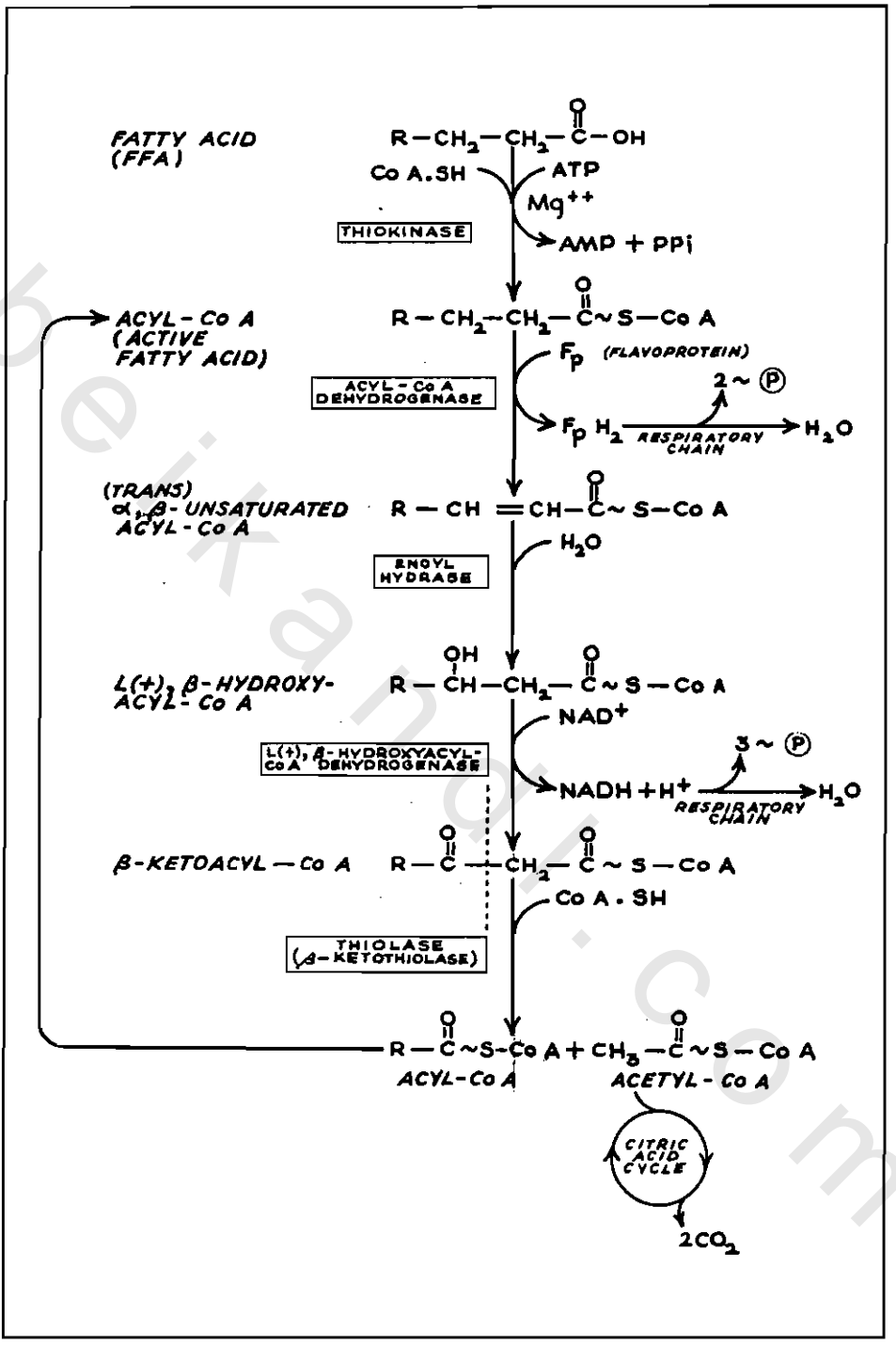
أما حمض البوليك، فإنه يتكون نتيجة تكسير البيورين أو يتكون من الجلوتامين.

ثالثاً : أيض الدهون Fat metabolism :

من المركبات المهمة للدهون: الأحماض الدهنية والدهون المتعادلة (ثلاثية الجليسرات) والدهون المفسفرة والسيترول. وتدخل الدهون المفسفرة فى تركيب غشاء الخلية.

تتكسر الأحماض الدهنية فى الجسم، وتتحول الى أسيتل مرافق الإنزيم أ، الذى يدخل بدوره الى دورة كربس. وتحدث عملية التكسير فى الميتوكوندريا عن طريق الأكسدة البائية B-oxidation.

وعملية الاكسدة عبارة عن خطوات متتالية لإزالة ذرتين كربون من الأحماض الدهنية، والطاقة المتولدة نتيجة لذلك كبيرة.



β - Oxidation of fatty acids

الأجسام الكيتونية:

فى كثير من الأنسجة تتكثف جزيئات استيل مرافق الإنزيم أ وتكون اسيتواستيل مرافق الإنزيم أ. وهذه المركبات الكيتونية (B-Kito acid) تتحول إلى أسيتون واسيتواسيتات وهيدروكس بيوترات، وهذه تسمي أجساماً كيتونية. وهذه الأجسام الكيتونية يحدث لها أيض بصعوبة في الكبد؛ ولذلك فإنها تمر الى الجهاز الدورى. وتقوم بعض الانسجة (غير الكبد) بنقل مجموعة مرافق الإنزيم أ من السكسنيل مرافق الإنزيم أ إلى الاسيتوأسيتات، والتى تتحول إلى ثانى أكسيد الكربون وماء عن طريق دورة كربس. وتعتبر الأجسام الكيتونية مصدراً للطاقة فى بعض الاحوال، ويخرج الأسيتون مع البول وفى هواء الزفير. ويعتبر مستوى الأجسام الكيتونية فى الجسم منخفضاً (١ ملليجرام/ لتر)، ويخرج حوالى ١ ملليجرام فى ٢٤ ساعة.

والأجسام الكيتونية المتكونة يحدث لها أيض بسرعة، ولكن إذا قل دخول الاستيل مرافق الإنزيم أ الى دورة كربس بسبب قلة كمية الجلوكوز، فيحدث تجمع للاستيل مرافق الانزيم أ، وتتكون كمية كبيرة من الاسيتواسيتات فى الكبد وتحدث أكسدة سريعة لها وكميتها تزيد فى الدم.

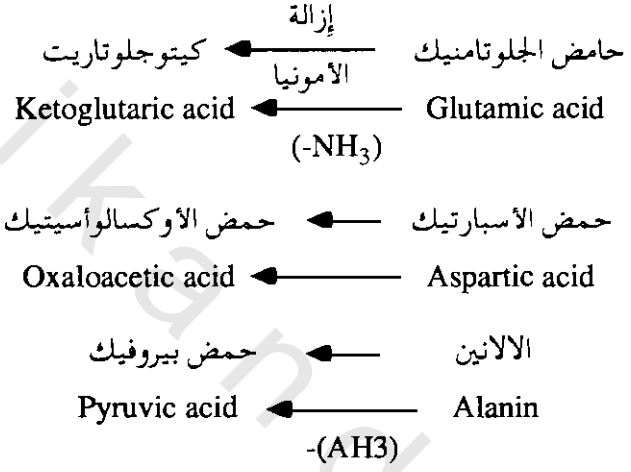
وللحيوان والإنسان المقدرة على تخزين كميات غير محدودة من الدهون، وعند حاجة الجسم الى الدهون تتحول الى فوسفات الدهون، وهى تختلف عن الدهون فى قابليتها للذوبان فى الماء، فتحمل بواسطة الدم الى أجزاء الجسم المختلفة، وخصوصاً إلى الكبد.

وتتحلل الدهون في الكبد إلى جلسرين وأحماض دهنية، والجلسرين المتكون يتحول الى فوسفات الجلسرين، وهى تشابه فوسفات الجلسرين، التى تتكون فى التحلل اللاهوائى للكربوهيدات؛ فمن الممكن أن تتحول إلى حامض البيروفيك، الذى يتأكسد بدوره إلى ثانى أكسيد الكربون وماء.

طاحونة الأيض الغذائى Metabolic Mill :

من المعلوم أن دورة كربس Kreb cycle أو الدورة الهوائية من أهم دورات الهدم، التى تحدث فى خلايا الجسم، وذلك لإنتاج الطاقة.

على سبيل المثال : عند هضم البروتين فإنه يتحول إلى أحماض أمينية تستخدم لتكوين أنسجة الجسم وبناء البروتين الذى تحتاجه الخلية، والزائد عن الحاجة تحدث له عملية إزالة لمجموعة الأمونيا (NH_3)



وعند هضم المواد الدهنية فإنها تتحول الى أحماض دهنية، تتأكسد بواسطة التأكسد البائى B-oxidation لتعطى مجموعة أستيل مرافق الإنزيم أ Actyl Co - A، تنفصل عن السلسلة الطويلة من الأحماض الدهنية وتدخل دورة كربس.

وعند هضم المواد الكربوهيدراتية فإنها تتحول الى جلوكوز، الذى يتحول بدوره إلى حمض بيروفيك Pyruvic acid ، الذى يدخل دورة كربس؛ ليعطى طاقة، والزيادة من الكربوهيدرات تتحول وتخزن على هيئة جليكوجين، الذى يتحول إلى أحماض دهنية.

الطاقة وانقباض العضلات

من المعروف أن انقباض العضلات يحتاج الى طاقة، والعضلات هى المكان الذى تتحول فيه الطاقة الكيميائية الى طاقة ميكانيكية. ومصدر الطاقة هو المركبات الفوسفورية التى تنتج نتيجة لأيض المواد الكربوهيدراتية والدهون. ويحدث تميؤ لثلاثى أدينوسين الفوسفات ليعطى طاقة.

يتكون ثلاثى أدينوسين الفوسفات من ثنائى أدينوسين الفوسفات، عن طريق اضافة مجموعة فوسفات، والطاقة اللازمة للبناء تستمد من تكسير الجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون وماء. ويوجد فى العضلات مركب آخر، يعطى طاقة، ولكن لوقت قصير هو فوسفوكرياتين (phosphocreatine)، والذى يتحول الى كرياتين ومجموعة فوسفات وتنتج طاقة. وفى أوقات الراحة، فإن بعض الأدينوسين ثلاثى فوسفات الموجودة فى الميتوكوندريا تعطى مجموعة الفوسفات الخاصة بها الى الكرياتين، فينتج فوسفوكرياتين. وأثناء النشاط (التمارين) يحدث تميؤ لهذا المركب فى الفجوة بين الأكتين والميوسين، ويتكون ATP ثلاثى أدينوسين الفوسفات من ثنائى أدينوسين الفوسفات ADP، ويحدث انقباض للعضلات يسمح له ان يستمر.

١ - الكربوهيدرات والدهون:

أثناء الراحة وأثناء التمارين الخفيفة تستهلك العضلات الدهون فى صورة أحماض دهنية حرة كمصدر للطاقة. وبزيادة كثافة التمارين لا تستطيع الدهون أن تمدها بالطاقة اللازمة؛ ولهذا تلجأ العضلات إلى استهلاك الكربوهيدرات كمصدر للطاقة (كوقود).

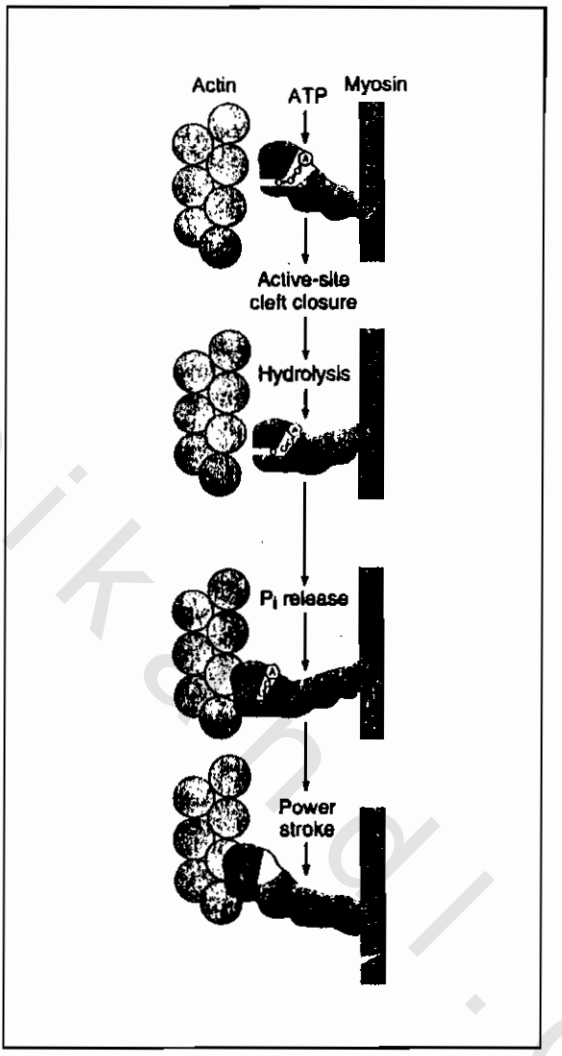
أثناء التمارين.. فإن مصدر الطاقة اللازمة لتكوين فوسفوكرياتين والأدينوسين ثلاثى الفوسفات يكون ناتجاً من تكسير الجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون والماء. ويحدث تكسير للجلوكوز، عن طريق مروره بعدة عمليات كميائية داخل الخلايا ويتكون البيروفات. ومن ناحية أخري يعتبر الجليكوجين المختزن فى الكبد والعضلات مصدرا آخر

للطاقة، وعند وجود الاكسجين بكمية كافية.. فإن البيروفات يدخل دورة كربس، ويتحول إلى ثانى أكسيد الكربون والماء، وتنطلق كمية كبيرة من الطاقة فى صورة ATP. وإذا وجد الأكسجين بكمية قليلة، فإن البيروفات لا يمر الى دورة كربس، وتحدث له عملية اختزال؛ فيتحول الى لاكتات (lactate) وهذه العملية اللاهوائية مرتبطة بانطلاق كمية قليلة من الطاقة فى المركبات الفوسفورية.

وقد ثبت أنه أثناء التمرينات العضلية، يحدث تمدد للأوعية الدموية الموجودة فى العضلات فتمدها بكمية وفيرة من الاكسجين، ويتناسب استهلاك كمية الاكسجين مع الطاقة المستنفذة وهذه العملية هوائية. وعندما تكون التمارين الرياضية عنيفة فإن تكوين الطاقة بالطريقة الهوائية لا يناسب استهلاك الطاقة. وفى هذه الاحوال، فإن الفوسفوكرياتين يستخدم فى تكوين الطاقة (ATP)، ويقف تكوين ATP باستخدام الطاقة المنطلقة بالعملية اللاهوائية فى تكسير الجلوكوز الى لاكتات. ويمر اللاكتات إلى الدم ويتجمع فى العضلات، ويسبب إجهاداً عضلياً. وبعد مرور وقت من الإجهاد، يستهلك كمية من الاكسجين لإزالة اللاكتات وإعادة تكوين ATP والفوسفوكرياتين مرة أخرى.

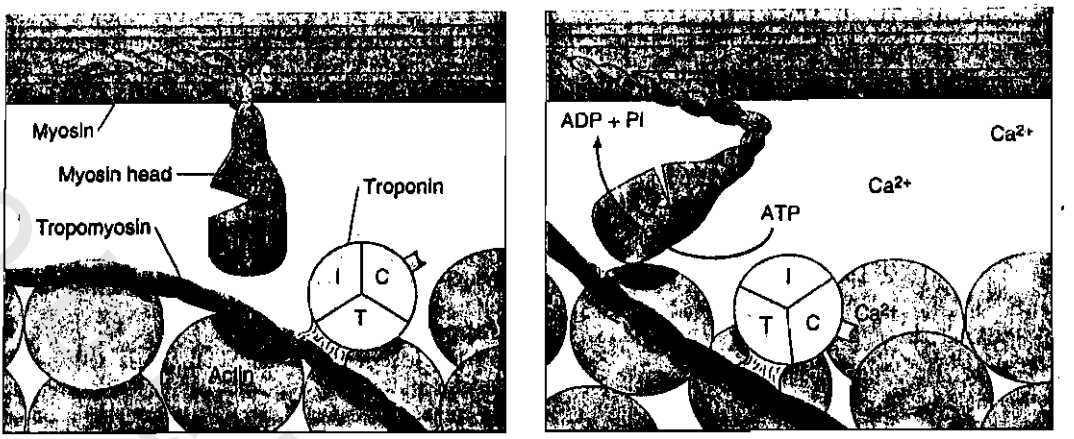
٢ - التيبس (Rigor):

تنتج هذه الحالة نتيجة النقص التام فى ATP والفوسفوكرياتين داخل ألياف العضلات؛ فتنتج حالة من التصلب نتيجة لارتباط الميوسين بالأكتين بقوة.



Diagrammatic representation of the proposed mechanism by which myosin heads produce sliding of actin on myosin. The ATP-binding site in the head is an open cleft. When ATP is bound and hydrolyzed, the cleft closes, distorting the head. and the head binds firmly to actin. The head then overcomes the distortion, creating the power stroke that moves actin on myosin (Modified from Rayment 1 et al: Structure of the actin myosin complex and its implications for muscle contraction. Science 1993; 261 : 58).

obeikandl.com



Initiation of muscle contraction by Ca^{2+} When Ca^{2+} binds to troponin C, tropomyosin is displaced laterally, exposing the binding site for myosin on actin (striped area). Hydrolysis of ATP then changes the conformation of the myosin head and fosters its binding to the exposed site, For simplicity, only one of the 2 heads of the myosin-II molecule is shown..

الأيض الغذائى وتكوين الطاقة

Transformation of Energy and Total Metabolism

إن قوة الأيض الغذائى ومواصفات المادة التى حدث لها تأكسد فى الأعضاء يمكن أن تقدر عن طريق كمية الأكسجين المستهلكة والمادة الخارجة من الجسم نتيجة التكسير أو الهدم (breakdown).

ومثال ذلك : فإن كمية البروتين التى يحدث لها تكسير، تعرف عن طريق كمية النيتروجين الموجودة فى البول.

وكمية الكربوهيدرات والدهون التى تتأكسد تقاس عن طريق كمية ثانى أكسيد الكربون المنطلقة وكمية الأكسجين المأخوذة فى الوقت نفسه.

ولتأخذ فى الاعتبار أن ثانى أكسيد الكربون لا ينتج فقط من تأكسد الدهون

والكربوهيدرات، ولكن أيضاً من البروتين وتقدر كمية البروتين التى حدث لها تكسير فى الأعضاء فى ٢٤ ساعة عن طريق كمية النيتروجين المفقودة، وبتقدير كمية الكربون الموجودة فيها (يحتوى البروتين على حوالى ٥٢٪ كربون)، وتطرح كمية الكربون الموجودة فى البروتين من كمية الكربون الموجودة فى البول. ومن السهل أن نقدر كمية كربون البروتين الذى تحول إلى ثانى أكسيد الكربون وكمية الأكسجين التى استخدمت فى العملية.

وبطرح كمية الأكسجين فى أكسدة البروتين من كمية الأكسجين المستخدمة فى العملية كلها، يمكن أن نقدر كمية الأكسجين المستخدمة لأكسدة الدهون والكربوهيدرات فى الأعضاء. وهذه تعتمد على أن أكسدة ١ جرام من الكربوهيدرات و١ جرام من الدهون تستخدم كمية مختلفة من الأكسجين، وتنطلق كمية مختلفة من ثانى أكسيد الكربون.

مثال:

نفرض أن فرداً استهلك حوالى ٦٧٢,٨ لتر من الأكسجين فى ٢٤ ساعة، وفقد حوالى ٦٢٨,٣ لتر من ثانى أكسيد الكربون فى الهواء، ١٣,١ جرام من النيتروجين، و٧,٦٨ جرام من الكربون فى البول خلال وقت التجربة.

١ جرام من النيتروجين يحتوى على ٦,٢٥ جرام من البروتين.

إذاً : ١٣,١ × ٦,٢٥ = ٨١,٨ جرام من البروتين، حدثت لها عملية تكسير.

كمية البروتين التى تحتوى على الكربون = $\frac{٨١,٨ \times ٥٢}{١٠٠}$ = ٤٢,٥١١ جرام من الكربون.

وبطرح كمية الكربون التى حدث لها إخراج فى البول من كمية البروتين التى حدث لها تكسير، نحصل على كمية البروتين التى استخدمت لتنتج ثانى أكسيد الكربون

٤٢,٥ – ٧,٦٨ = ٣٤,٨٢ جرام.

إذاً : كمية الكربون التى تنتج (نسبة الكربون إلى نسبة ثانى أكسيد الكربون)

= $\frac{٣٤,٨ \times ٤٤}{١٢}$ = ١٢٧,٦ جرام ثانى أكسيد الكربون.

أكسدة ٣٤,٨ جرام تحتاج إلى (نسبة وزن الكربون إلى الأكسجين فى ثانى أكسيد الكربون) = $\frac{٣٤,٨ \times ٤٤}{١٢}$ = ٩٠,٢٨ جرام من الأكسجين.

ولنأخذ فى الاعتبار أن ١٠٠ جرام من البروتين تحتوى على ٣,٤٣٩ جرام هيدروجين تحتاج إلى أكسجين من الوسط الخارجى لتعطى ماء.

إذاً : ٨١,٨ جرام من البروتين تحتوى على ٢,٨١ جرام من الهيدروجين، وتحتاج إلى ٢٢,٤٨ جرام من الأكسجين لتعطى ماء.

إذاً ٩٠,٢٨ + ٢٢,٤٨ = ١١٢,٧٦ جرام من الأكسجين يحتاجه البروتين ليتأكسد.

عند درجة حرارة صفر مئوية وضغط جوى ٧٦٠ ملل متر زئبق، فإن حجم ١ جرام من ثانى أكسيد الكربون = ٠,٥٠٨٧ لتر، وحجم ١ جرام من الأكسجين = ٠,٦٩٩ لتر.

وحجم الأكسجين المستخدم للبروتين = ١١٢,٧٦ X ٠,٦٩٩ = ٧٧,٨ لتر.

وبطرح هذه الكمية من المأخوذة والناتج فى ٢٤ ساعة، نستطيع حساب كمية الأكسجين المستخدمة لتأكسد الدهون والكربوهيدرات وكمية ثانى أكسيد الكربون الناتجة.

٦٧٢,٢٨ – ٧٧,٨ = ٥٩٥ لتراً من الأكسجين

٦٢٨,٨ – ٦٤,٩ = ٥٦٣,٤ لتر من ثانى أكسيد الكربون.

وفيما يلى حساب كمية الأكسجين المستهلكة لأكسدة الكربوهيدرات والدهون وكمية ثانى أكسيد الكربون المتكونة:

كمية الأكسجين المستهلكة لأكسدة الكربوهيدرات تساوى كمية ثانى أكسيد الكربون المنطلقة.

وأن نسبة ثانى أكسيد الكربون المنطلقة إلى نسبة الأكسجين المستهلكة لأكسدة الدهون = ٠,٧ .

فى المعادلة التالية نفترض أن :

س : هى كمية الأكسجين المستهلكة للدهون .

ص : هى كمية ثانى أكسيد الكربون الناتج للدهون .

أ : هى كمية الأكسجين المستهلك للكربوهيدرات تساوى الكمية الناتجة نفسها من ثانى أكسيد الكربون .

إذاً : س = ٠,٧

ص

س + أ = ٥٩٥

ص + أ = ٥٦٣,٤

وبحل المعادلة نجد : ٤٨٩,٦ لتر من الأكسجين، تستهلك لتأكسد الكربوهيدرات (أ).

١٠٥,٤ لتر من الأكسجين تستهلك لتأكسد الدهون (س)

وحيث إن تأكسد جرام من الكربوهيدرات يحتاج إلى ٠,٨٣٠ لتر من الأكسجين وتأكسد ١ جرام من الدهون يحتاج إلى ٢,٠٣٠ من الأكسجين.

ومن هنا نستطيع حساب كمية الدهون والكربوهيدرات، التى يحدث لها هدم فى ٢٤ ساعة.

٤٨٩,٦ X ٠,٨٣٠ = ٥٩٠ جرام من الكربوهيدرات

١٠٥,٤ X ٢,٠٣٠ = ٥١,٩ جرام من الدهون

من ذلك نجد أن عملية الأيض الغذائى التى تمت فى ٢٤ ساعة استهلكت ٨١,٨ جرام من البروتين، ٥٩٠ جرام من الكربوهيدرات، ٥١,٩ جرام من الدهون .

وبقياس الأيض الغذائى، نستطيع أن نقدر كمية الطاقة فى الجسم، وهذه الطاقة على

obeikandl.com

صورة حرارة تنطلق نتيجة لهذه العملية، وتقاس بالكيلو سعر (Kilocalories).

الحرارة المنطلقة نتيجة تأكسد ١ جرام من البروتين = ٤,١ كيلو سعر.

الحرارة المنطلقة نتيجة تأكسد ١ جرام من الكربوهيدرات = ٤,١ كيلو سعر.

الحرارة المنطلقة نتيجة تأكسد ١ جرام من الدهون = ٩,٣ كيلو سعر.

إنتاج الحرارة Heat Production :

تنتج عن عمليات التفكك المصحوبة بإنتاج طاقة مثال تحويل الطاقة الكيميائية إلى حركة.

معظم الطاقة الناتجة تتحول إلى حرارة، ٢٠ – ٢٥٪ تتحول إلى طاقة ميكانيكية.. والصورة النهائية هى إنتاج حرارة إلى الوسط الخارجى.

والطاقة الميكانيكية تنطلق خلال انقباض القلب، ومسئولة عن حركة الدم، ومن الممكن أن تتحول إلى حرارة.

ويمكن قياس كمية الطاقة المنطلقة (liberate energy) عن طريق مباشر (direct) أو غير مباشر (indirect)، ويعبر عنها بوحدة الحرارة سعر أو كيلو سعر (Kilocalories).

أ – القياس المباشر (direct calorimetry) عن طريق جهاز يقدر كمية الطاقة المنطلقة من الجسم، وبحساب الأيض الغذائى يمكن حساب الحرارة الناتجة. ويسمى الجهاز Calorimeter chamber.

ب – القياس غير المباشر هو تبادل الغازات (Gas exchange).

إن مصادر الطاقة فى الجسم هى عمليات الأكسدة، والتى يستهلك فيها الأكسجين، وينتج ثانى أكسيد الكربون، وبهذا يمكن حساب الطاقة عن طريق تبادل الغازات، وذلك عن طريق الأكسجين الممتص إلى نسبة ثانى أكسيد الكربون المنطلق، ويستخدم فى هذه التجربة جهاز respiration chamber.

ومن الشائع استخدامه استخدام غطاء mask متصل بحقيبة متصلة بالهواء. ومثبت

obeikandl.com

بها صمام يستطيع الفرد أن يتنفس ويطرد الهواء فى الحقيبة.

ويجمع الهواء المنطلق ويقاس حجمه فى الحقيبة بواسطة جهاز للقياس مزود بالحقيبة وتقاس نسبة محتواه من الأكسجين إلى ثانى أكسيد الكربون.

يستخدم الأكسجين الممتص فى أكسدة ١ جرام من البروتين والدهون والكربوهيدرات، وتختلف كمية الحرارة المنطلقة باختلاف المادة.

كمية الأكسجين المستهلكة لأكسدة ١ جرام من الكربوهيدرات = ٠,٨٣٠ لتر من الأكسجين، وتنطلق حرارة = ٤,١ كيلو سعر حرارى، وإذا استهلك ١ لتر من الأكسجين ينتج حوالى ٥,٠٥ كيلو سعر.

يستهلك تأكسد ١ جرام من البروتين حوالى ٠,٩٧٠ لتر من الأكسجين، وتنطلق حرارة = ٤,١ كيلو سعر، وبالتالى فإن الأكسجين يستخدم لأكسدة البروتين تنتج حرارة = ٤,٤٦ كيلو سعر حرارى.

وإذا استهلك ١ لتر من الأكسجين لأكسدة الدهون، تنتج حرارة = ٤,٧٤ كيلو سعر حرارى.

المادة التى تتأكسد فى الجسم	أكسدة ١ جرام		الحرارة المنطلقة عند استهلاك لتر من الأكسجين
	الحرارة المنطلقة	الأكسجين المستهلك	
البروتين	٤,١	٠,٩٧٠	٤,٤٦
الدهون	٩,٣	٢,٠٣٠	٤,٧٤
الكربوهيدرات	٤,١	٠,٨٣٠	٥,٠٥

*N.B. : K.J. = 4.1843 K. Cal.

المـــاء (Water)

للماء أهمية كبيرة فى جسم الإنسان والحيوان، وذلك للأسباب الآتية:

أ – ينقل نواتج الهضم كمحلول مائى إلى الدم.

ب – ينقل المواد الإخراجية من أنسجة الجسم المختلفة إلى أجهزة الإخراج على صورة محلول مائى.

جـ – السعة الحرارية للماء عالية؛ فهو يمتص كميات كبيرة من الحرارة، دون أن تتغير حرارته لدرجة ضارة بالجسم.

د – الماء موصل جيد للحرارة بالنسبة للسوائل الأخرى، وهذا يساعد على توزيع الحرارة بالتساوى فى أجزاء الجسم المختلفة، هذا بالإضافة إلى عمل الدورة الدموية، التى تساعد أيضاً على توزيع الحرارة بالتساوى فى الجسم.

هـ – الحرارة الكامنة لتبخر الماء عالية، فإذا فقد الجسم كمية قليلة من الماء بالتبخر (كما يحدث فى العرق) صحب ذلك امتصاص كمية من حرارة الجسم؛ فالسنتيمتر المكعب من الماء يحتاج لتبخره إلى ٥٨٠ سعر.

ويكون الماء حوالى ٩٠٪ من وزن الجسم فى حالة الأطفال أو الحيوانات صغيرة السن، كما يكون الماء ٦٠ – ٧٠٪ من وزن الجسم فى الإنسان البالغ.

ويوجد فى جسم الرجل متوسط الحجم ٤٧ لتر ماء موزعة فى جسمه كالآتى:

٣٤ لتراً داخل الخلايا – ١٠ لترات خارج الخلايا – ٣ لترات فى بلازما الدم.

هذا.. وتتراوح كمية الماء اللازمة لاحتياجات الجسم بين ٦ – ٨ لترات فى الشتاء فى اليوم، ٨ – ٩ لترات فى فصل الصيف، طبقاً للمجهود والعمر والسن ودرجة الحرارة، ويدخل فى نطاق ذلك جميع السوائل التى يتناولها الفرد سواء ماء أو عصائر أو مشروبات أو كمية الماء الموجودة فى المواد الغذائية أثناء الطهى والحساء، وغيرها من

مصادر الماء الأخرى. وبالتالى.. فإن الكمية التى يحتاجها الجسم كماء فقط (potaple water) تتراوح بين ١,٥ – ٢ لتر فى الشتاء، ٢ – ٢,٥ فى الصيف.

– يدخل الجسم فى اليوم حوالى ٦ لتر من الماء بيانها كالتالى :

١ لتر مع اللعاب.

١,٥ – ٢ لتر فى العصير المعدى.

٠,٧٥ – ١ لتر فى العصارة الصفراوية.

٠,٦ لتر فى العصارة البنكرياسية.

١ لتر من السوائل الداخلية (المخاطية).

وبالإضافة إلى ٢ لتر ماء شرب فى اليوم (drinking water).

وإذا فقد جسم الإنسان ١٠٪ من مائه، اختلت وظائفه الفسيولوجية. وإذا وصل هذا النقص إلى ٢٠٪ أدى ذلك إلى الموت. ولكى يبقى الإنسان بحالة صحية، لابد أن يدخل الجسم كمية من الماء مساوية لما يفقده، أى إن الجسم لابد أن يبقى فى حالة اتزان مائى (water balance).

ينتج الماء من أكسدة المواد الغذائية بالجسم.

ويخرج الماء من الجسم على صورة :

١ – البول.

٢ – ماء فى الزفير.

٣ – ماء فى البراز.

٤ – ماء متبخر من الجلد.

هذا.. ويوجد الجسم دائمًا فى حالة اتزان مائى، وعند زيادة فقد الماء مع عدم تعويضه، يحدث جفاف للجسم، ويلاحظ ذلك فى حالات القىء المستمر وبعض الأمراض التى تسبب القىء والإسهال مثل الكوليرا. وفى الحالات الشديدة قد تنتج

حالات الوفاة. وعند قلة فقد الماء من الجسم، كما هو الحال فى مرض الكلى ونقص البروتين وضعف القلب.. فإن الماء يتراكم فى الجسم ويتجمع فى الفراغ البطنى؛ ولذلك يلاحظ تورم فى بعض المناطق مثل الوجه والساقين ونجد أيضاً أن الإفراط الشديد فى تناول الماء يؤدى إلى حالات التسمم المائى، التى تتميز بانخفاض درجة حرارة الجسم والقىء وكثرة البول والارتعاش، ثم يعقبه بعد ذلك إغماء يؤدى إلى الموت.

ب - امتصاص الماء وتكوين البول

Water absorption and urine formation

يستخلص البول من الدم بعملية ترشيح دقيقة (Ultrafiltration)، تعقبها عملية امتصاص مختارة (Selective reabsorption)، وتقوم الأنابيب الكلوية (النيفرون Nephron) بعملية تكوين البول. ويوجد بكل كلية إنسان حوالى مليون أنبوبة كلوية، وطول الأنبوبة الكلوية حوالى ٥ سم، وللأنبوبة الكلوية طرف مسدود يكون على صورة حوصلة، منبعج جانبها الطرفى إلى الداخل، وتعرف بحويصلة بومان Bowmans capsule، وتؤدى هذه الحويصلة إلى أنبوبة كثيرة الالتواء، تعرف بالأنبوبة الملتوية القريبة (Proximal convoluted tubule)، وهذه تؤدى إلى أنبوبة ضيقة نسبيّاً ومستقيمة، تعرف بالجزء الهابط من ثنية هنلى (Descending loop of Henli)، يليها جزء ضيق آخر، يسير موازياً للجزء السابق، ويعرف بالجزء الصاعد من ثنية هنلى (Ascending loop of Henli)، وهذه تؤدى إلى أنبوبة كثيرة الالتواء، تعرف بالأنبوبة الملتوية البعيدة (Distal convoluted tubule)، التى تفتح فى نهايتها الأنبوبة الجامعة (Collecting tubule)، ويصل لكل حويصلة من حويصلات بومان فرع صغير من الشريان الكلوى، يعرف بالشريان الداخلى (Afferent arteriole)، الذى ينقسم فى تجويف الحويصلة إلى شعيرات، يتراوح عددها بين ٥ - ٦ أفرع تكون جدرانها ملاصقة لجدار الحويصلة الداخلى، وتعرف بالجلوميريولاس (glomerulus)، ثم تتجمع هذه الأفرع ثانياً لتكون الشريان الخارجى (efferent arteriole)، الذى سرعان ما يتفرع ثانياً إلى شعيرات دموية كثيرة، تسير ملاصقة للأجزاء الأخرى من الأنبوبة الكلوية، وبذلك يسهل التبادل بين

محتويات السائل، الذى يمر فى أجزاء الأنابيب الكلوية، ومحتويات الدم الذى يمر فى هذه الشعيرات، ثم تتجمع هذه الشعيرات تدريجياً؛ لتكون فى النهاية الوريد الكلوى.

وفى عملية البول، تعمل جدران الشعيرات الدموية المكونة للجلوميريولاس وجدار الحويصلة الملاصق لهذه الشعيرات كمرشح (filter)، يسمح بمرور كل محتويات الدم، التى يقل وزنها الجزيىء عن ٦٨٠٠٠ إلى تجويف الأنبوبة الكلوية. ولكنها تحول دون مرور المواد التى وزنها الجزيئ أكبر من ذلك، وباستعمال الميكروسكوب الإلكترونى، اتضح أن هناك ثقوباً قطرها ٠,١ ميكرون يتم عن طريقها عملية الرشح هذه؛ فيمر بذلك من الدم إلى تجويف الأنبوبة الكلوية الماء والمواد الغذائية (كالجلوكوز والأحماض الأمينية والأملاح المعدنية)، والمواد الإخراجية كالبولينا (Urea)، وحامض البوليك (Uric acid) والكرياتينين (Creatinine)، فى حين أن الكرات الدموية وبروتينات الدم لا تستطيع المرور لكبر حجمها، وإن كانت هناك أمراض، نشأ عنها تفكك فى الكرات الدموية الحمراء وانطلاق الهيموجلوبين فى الدم.. فإن الهيموجلوبين يمر ضمن المواد المرشحة؛ لأن الوزن الجزيئ للهيموجلوبين هو ٦٧٠٠٠.

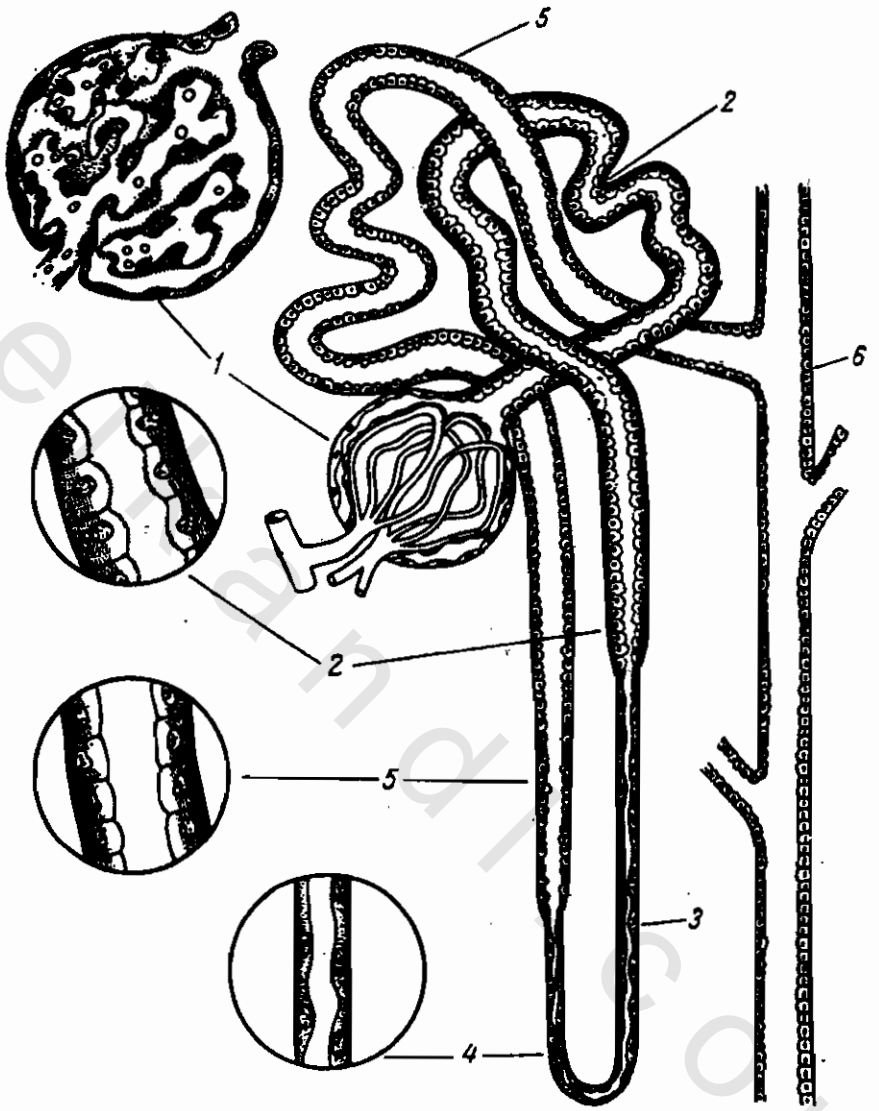


Diagram of the struture of a nephron (after Smith):

1 - glomerulus; 2 - proximal convoluted tubule; 3 - descending limb of Henle's loop; 4 - ascending limb of Henle's loop; 5 - distal convoluted tubule; 6 - collecting tubules. The structure of the epithelium in the different portions of the nephron is shown in the cricles.

تأتى الطاقة اللازمة لعملية الترشيح من ضغط الدم الشريانى فى شعيرات الجلوميريولاس. وأثناء مرور السائل المرشح فى الأنبوبة الكلوية، تقوم خلايا الأنبوبة الكلوية بعملية امتصاص مختارة (Selective reabsorption) لبعض محتويات هذا السائل حسب حاجة الجسم إليها – فالمواد الغذائية يعاد امتصاصها جميعها، أما إعادة امتصاص الأملاح المعدنية فيختلف كثيراً، ويتوقف ذلك على تركيز هذه الأملاح فى بلازما الدم. أما المواد الإخراجية فجزء صغير جداً منها يعاد امتصاصه. أما عن الماء، ففى الظروف العادية يعاد امتصاص أكثر من ٩٩٪ من الماء، الذى يوجد فى السائل، الذى يرشح داخل الأنبوبة الكلوية فيعاد امتصاص ١٦٨,٥ لتر من ١٧٠ لتراً، التى تمر إلى الأنبوبة الكلوية فى ٢٤ ساعة، ويخرج فقط ١,٥ لتر على صورة بول يوميا – ويحدث امتصاص الماء بواسطة خلايا الأنبوبة الملتوية القريبة والأنبوبة الملتوية البعيدة والأنبوبة الجامعة – ويحدث امتصاص ٧ / ٨ الماء بالأنبوبة الملتوية القريبة، أما امتصاص الماء فى الأنبوبة الملتوية البعدية والأنبوبة الجامعة، فينظمه هرمون يعرف، بالهرمون المانع لإدرار البول Antidiuretic hormone، الذى يفرزه الفص الخلفى للغدة النخامية. ويؤدى نقص إفراز هذا الهرمون إلى عدم امتصاص الماء بواسطة الأنبوبة الملتوية البعيدة والأنبوبة الجامعة، بما يؤدى إلى زيادة حجم البول، وقد يصل إلى ٢٢,٥ لتر يومياً، وتعرف هذه الحالة بمرض إدرار البول (diabetes insibidus). ومن ناحية أخرى، فإن نقص كمية الماء بالجسم تعمل على زيادة إفراز هذا الهرمون؛ فيزيد بذلك امتصاص الماء بواسطة الأنبوبة الملتوية البعيدة والأنبوبة الجامعة، ويؤدى ذلك إلى نقص حجم البول، وقد يصل هذا النقص لدرجة أن يصبح حجمه ٣٠٠ مليلتر يومياً، وهذا هو أقل حجم يمكن أن يصل إليه البول ليستطيع نقل المواد الإخراجية.

يحدث امتصاص كل الجلوكوز بواسطة الأنابيب الكلوية فى الأحوال الطبيعية، ولكن قدرة خلايا الأنابيب الكلوية على امتصاص الجلوكوز وإعادته للدم محدودة، فإن زادت كمية الجلوكوز عن ١٨٠ مليجرام فى كل مائة مليمتر من الدم، تعذر على خلايا الأنبوبة الكلوية امتصاص الجلوكوز كله، ويبقى جزء منه يخرج فى البول؛ ففى مرض السكر عند عدم علاج المريض تزيد كمية الجلوكوز فى الدم كثيراً، ولذلك يظهر فى البول.

كما يتم امتصاص كل بيكربونات الصوديوم بواسطة خلايا الأنبوبة الكلوية.

ويتناول الإنسان عادة كميات أكثر من حاجة جسمه من كلوريد الصوديوم (ملح الطعام)؛ ولذلك يوجد هذا الملح عادة فى البول، وتتراوح كميته بين ١٠ – ١٥ جرام يومياً، ويفقد الإنسان كلوريد الصوديوم أيضاً فى العرق، وإذا نقص هذا الملح فى الجسم عن المعدل الطبيعى.. فإن إعادة امتصاص هذا الملح تكون كاملة، ولا يخرج منه شىء فى البول. وفى الأحوال الطبيعية، تمتص خلايا الأنبوبة الملتوية القريبة كلوريد الصوديوم، ويمتص الباقى بخلايا ثنية هنلى والأنبوبة الملتوية البعيدة، وينظم هذا الامتصاص الأخير هرمون الألدوستيرون Aldosterone، التى تفرزه قشرة غدة فوق الكلية، أما أيون البوتاسيوم فيعاد امتصاصه بخلايا الأنبوبة الملتوية القريبة.

وأهم المواد الإخراجية فى بول الإنسان، هى: البولينا وحامض البوليك والكرياتينين.

ويخرج الجسم حوالى ٣٠ جرام بولينا يومياً، وتتكون البولينا فى الكبد من الأمونيا، التى تنتج من عملية إزالة الأمونيا deamination للأحماض الأمينية الزائدة بالجسم، وتتوقف الكمية التى يخرجها الجسم من البولينا يومياً على كمية ما يتناوله الإنسان من البروتين، وما يحتاج إليه من الأحماض الأمينية للنمو ولإصلاح وتعويض الأنسجة، كما أن أملاح الأمونيا التى يتناولها الإنسان فى الطعام تتحول أيضاً إلى بولينا، والمستوى الطبيعى للبولينا فى الدم هو ٣٠ مليجرام فى كل ١٠٠ مليلتر من الدم. وعندما يتعطل عمل الكلية فى الجسم، ترتفع نسبة البولينا فى الدم، وتعرف الحالة بتسمم البولينا (Uraenemia).

تتراوح كمية حامض البوليك فى الدم من ٢ – ٣ مليجرام فى كل ١٥٠ مليلتر من الدم، وقد يصل ما يخرجه الجسم من حامض البوليك ٢ جرام يوميا.

أما الكرياتينين فينتج من كرياتينين العضلات، وتتوقف الكمية التى يخرجها الجسم يوميا على حجم العضلات بالجسم؛ فهى تزيد فى الرجال ذوى العضلات المفتولة عنها فى النساء والأطفال، بالإضافة إلى ذلك فهناك مركبات البيورين purine والزانثين Xanthine والهيبوزانثين Hypoxanthine والأدنين adenine وحامض الهيبوريك Hipuric والإنديكان indican، الذى ينشأ من تأثير بكتريا الأمعاء على الأندول indol، يزيد

الإنديكان كثيراً فى البول فى حالات انسداد الأمعاء Intestinal obstruction .

بالإضافة إلى المواد الإخراجية التى تتكون بطريقة الترشيح فى حوصلة بومان، فهناك مواد تفرزها خلايا الأنابيب الكلوية إلى تجويف الأنابيب، مثال ذلك البنسلين وحمض البارا أمينوهيبوريك Para-aminohipuric acid، أما أيون البوتاسيوم فعلى الرغم من أنه يمتص من السائل المرشح بواسطة خلايا الأنبوبة الملتوية القريبة، إلا أنه يفرز ثانياً من خلايا الأنبوبة الملتوية البعيدة إلى تجويف الأنبوبة الكلوية، ولخلايا الأنابيب الكلوية القدرة كذلك على إفراز أيون الأيدروچين وأيونات الأيدروكسيد؛ وبذلك فهى تستطيع أن تغير درجة التركيز الأيدروچينى (pH) للسائل البولى من ٧,٤، وهى درجة تركيز الأيدورچين فى الدم إلى درجة تتراوح بين ٤,٥ ، ٨,٥، وهذا مدى تغير درجة التركيز الأيدروچينى للبول.

طريقة تكوين البولينا:

ن يد$_{٤}$ + ك أ$_{٢}$ + ادينوسين ثلاثى الفوسفات ← فوسفات الكرباميل

فوسفات الكرباميل + ارنيثين ← سترولين

سترولين + اسبرتات + أدينوسين ثلاثى الفوسفات ← أرجينينوسكسينات

أرجينينوسكسينات ← فيوميرات + أرجنين

أرجنينين ← أرنيثين + بولينا

طريقة تكوين حامض البوليك:

٣ ن يد$_{٤}$ + ك أ$_{٢}$ + جليسين + فورمات + ريبوز فوسفات ← (من الجلوتامين)

حامض الأينوسنيك ← أينوسين ← هيبوزانثين ← زانثين ← حامض بوليك