একক 5 ❑ প্রাণশক্তির সংজ্ঞা ও উৎস (Bioenergetics : definition and source)

গঠন

5.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

5.2 শক্তিসংক্রান্ত সূত্রাবলি—তাপগতি বিদ্যা

5.3 প্রাণশক্তিতে আরোপিত কিছু উপাদান ΔG° ও $\Delta G^{\circ\prime}$

5.4 ΔG°-এর যোগফল

5.5 সঞ্চিত প্রাণশক্তির প্রাণরাসায়নিক রূপ

5.6 ATP সৃষ্টি ও লয়

5.7 ATP ব্যতীত উচ্চশক্তি সম্পন্ন প্রাণ রাসায়নিক অণু

5.8 সারাংশ

5.9 প্রশ্নাবলি

5.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা : একটি জীবন্ত কোষকে একটি ইঞ্জিনের সঙ্গে তুলনা করা যেতে পারে। কোষের একটি নির্দিষ্ট আয়তন আছে এবং নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপে কোষটিতে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয়। এই ক্রিয়া-বিক্রিয়ার জন্য কোষ তার পরিবেশ থেকে শক্তি সংগ্রহ করে।

খুব সহজ করে বললে বলা যেতে পারে, যখন সবুজ পাতায় সালোকসংশ্লেষ হয় তখন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় CO_2-এর সাহায্যে গ্লুকোজ তৈরি হয়—শক্তি আসে সূর্যালোক থেকে ফোটন হিসাবে। আমরা যখন খাদ্য গ্রহণ করি, তখন জটিল অণু ভেঙ্গে সরল অণুতে পরিণত হয় এবং অনেক শক্তি বেরিয়ে আসে জটিল অণু থেকে। সেই শক্তি আমাদের শরীরের তাপমাত্রা বজায় রাখতে সাহায্য করে ও পরবর্তীকালে সরল অণু থেকে পুনরায় জটিল অণু (যেগুলি আমাদের প্রয়োজনীয়) সৃষ্টিতে সাহায্য করে।

তাহলে উৎপন্ন শক্তি সঞ্চয় করে রাখতে হবে যাতে প্রয়োজন খরচ করা যেতে পারে।

কিভাবে সেই শক্তি সঞ্চিত হবে ও ব্যয়িত হবে তার একটি নির্দিষ্ট পদ্ধতি আছে—সেইটিই এই এককে আলোচিত হবে।

উদ্দেশ্য : এই এককটি পাঠ শেষ করে আপনারা জানতে পারবেন—

- শক্তি কী।
- কখন ও কীভাবে শক্তি উৎপাদিত হয়।
- কীভাবে শক্তি সঞ্চয় করা যায়।
- কোন কোন প্রাণ রসায়ন অণু শক্তি সঞ্চয় করতে পারে।

5.2 শক্তি—শক্তিসংক্রান্ত সূত্রাবলী (Energy—Laws of energy)

থার্মোডাইন্যামিক্স (Thermodynamics—তাপগতিবিজ্ঞান)-এর দুটি সূত্র আমাদের বারে বারেই ব্যবহার করতে হবে—তাই তাদেরকে একবার মনে করে নেওয়া যাক—

(১) তাপগতিবিজ্ঞানের প্রথম সূত্র—

যেকোন বিক্রিয়ায় বিকারক ও তার পরিবেশের মোট শক্তির পরিমান একটি ধ্রুবক। শক্তি সৃষ্টিও করা যায় না অথবা ধ্বংসও করা যায় না। শুধু রূপান্তর করা সম্ভব—একটি শক্তিকে অন্য শক্তিতে। যেমন—রাসায়নিক শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তি অথবা তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করা সম্ভব।

(২) তাপগতিবিজ্ঞানের দ্বিতীয় সূত্র—

যেকোন বিক্রিয়ায় বিকারক ও তার পরিবেশের 'এন্ট্রপি' (entropy) সর্বদাই বৃদ্ধি পায়, যতক্ষণ না সাম্যাবস্থায় আসে। সাম্যাবস্থায় 'এন্ট্রপি' সর্বাপেক্ষা বেশী একটি নির্দিষ্ট চাপ ও তাপমাত্রায়। 'এন্ট্রপি' নিয়ে একটি গোলমেলে অবস্থা বোঝানো হয় যেখানে কোন বাধা নেই যেকোন দিকে চলে যাওয়ার, তাতে বিকারক ও তার পরিবেশের শক্তির পরিবর্তন ঘটে। বিকারকের মুক্ত শক্তির পরিমাণ কমে। তাহলে পরিবেশের কী হবে?

এইটি একটি খুব সাধারণ সমীকরণ দ্বারা বোঝানো সম্ভব

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S.$$

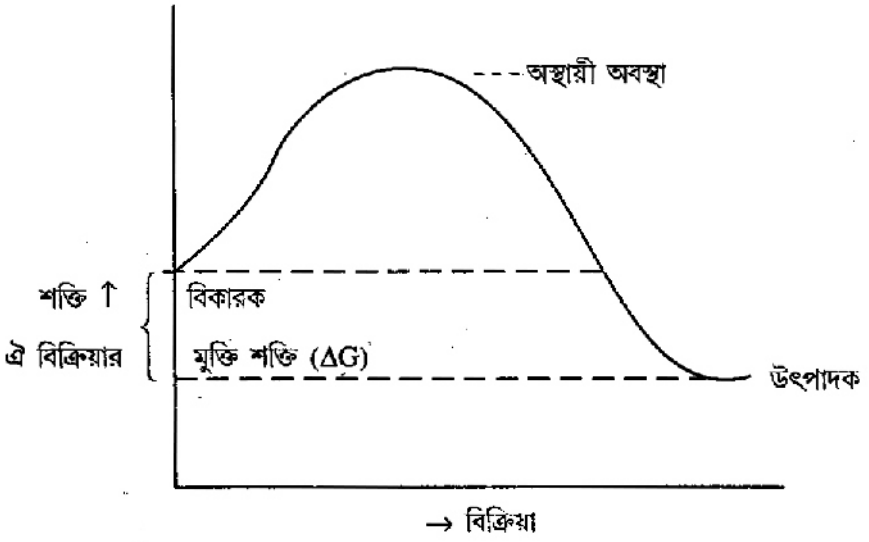
যেখানে, ΔG = বিকারকের মুক্ত শক্তির পরিবর্তন (ক্যালরি)

ΔH = 'এনথ্যাল্‌পি'র পরিবর্তন (ক্যালরি)

ΔS = 'এন্ট্রপি'র পরিবর্তন [ক্যালরি/ডিগ্রি (কেলভিন)]

T = তাপমাত্রা (চরম স্কেলে বা কেলভিন)

একটি ছকের সাহায্যে যদি দেখানো যায়, তাহলে চিত্রটি হবে—



চিত্র 5.1

কোন বিক্রিয়ায় ΔG যদি '+' (ধনাত্মক) হয় তাহলে বিক্রিয়াটিকে বলা হয় এন্ডারগনিক (Endergonic) এবং বিক্রিয়াটি সংঘটিত করতে শক্তি বাইরে থেকে দিতে হবে।

যদি বিক্রিয়ার ΔG '–' (ঋণাত্মক) হয় তাহলে বিক্রিয়াটিকে বলা হয় এক্সারগণিক (exergonic) এবং বিক্রিয়াটি সংঘটিত করতে কোন শক্তি দিতে হয় না—বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে হয়।

উদাহরণস্বরূপ নিম্নলিখিত বিক্রিয়াটি দেখানো হ'ল—

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT\, ln\, \frac{[C]^{c}\,[D]^{d}}{[A]^{a}\,[B]^{b}}$$

ΔG° = মুক্তশক্তির পরিবর্তন একটি নির্দিষ্ট অবস্থার জন্য। নির্দিষ্ট অবস্থাটিকে বলা হয় স্ট্যান্ডার্ড কন্ডিশন— অর্থাৎ বিকারকগুলি 1 মোল ব্যবহৃত হবে 0°C তাপমাত্রায় ও 76 cm (পারদস্তম্ভ) বায়ুচাপে অর্থাৎ 1 অ্যাটমস্ফেরিক চাপে।

তাই এটিকে বলা হয় 'স্ট্যান্ডার্ড ফ্রি এনার্জি চেঞ্জ'।

বিক্রিয়াটি যখন সাম্যাবস্থায় পৌঁছাবে, তখন $\Delta G = 0$ হবে।

তাহলে, $0 = \Delta G^{\circ} + RT\, ln\, \frac{[C]^{c}[D]^{d}}{[A]^{a}[B]^{b}}$.

অথবা, $\Delta G^\circ = -RT\ ln\ \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$.

আবার, উপরিউক্ত বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবক [equilibrium const]

$$Keq = \frac{[C]^c\,[D]^d}{[A]^a\,[B]^b} \qquad [\text{যদি } Keq = 1 \text{ হয় তবে } \Delta G = \Delta G^\circ]$$

$\therefore \Delta G^\circ = -RT\ ln\ Keq.$

$= -2.303\ RT \log Keq.$

তাহলে, Keq ও T জানা থাকলে ΔG° সহজেই গণনা করা যাবে।

আবার $\Delta G^\circ = \underset{\text{উৎপন্ন দ্রব্য}}{G^\circ} - \underset{\text{বিকারক}}{G^\circ}$

$= [cG^\circ C + dG^\circ D] - [aG^\circ A + bG^\circ B]$

ΔG°-এর মান বলে দেয় ঠিক কতটা মুক্ত শক্তি ঐ বিক্রিয়ায় পাওয়া সম্ভব। আসলে ΔG° অথবা 'স্ট্যান্ডার্ড ফ্রি এনার্জি চেঞ্জ' হচ্ছে মুক্তশক্তির পরিবর্তন যা শোষিত হবে অথবা উৎপাদিত হবে প্রতি মোলে যখন A, B, C এবং D সকলেই 1 মোল করে বিক্রিয়ারত 273 কেলভিনে ও 1 অ্যাটমস্ফেরিক চাপে এবং নির্দিষ্ট বিকারকের জন্য এর মান ধ্রুবক।

কিন্তু ΔG হচ্ছে যে মোট মুক্তশক্তির পরিবর্তন হচ্ছে একটি বিশেষ বিক্রিয়ার জন্য। ΔG-এর মান বিভিন্ন হওয়া স্বাভাবিক। [C], [D], [A], [B] অর্থাৎ বিকারকের ঘনত্বের সঙ্গে ΔG পরিবর্তিত হয়। ΔG-এর মান ঋণাত্মক হলেই বিক্রিয়াটি সংঘটিত হবে, না হলে নয়। কিন্তু ΔG°-এর মান ঋণাত্মক অথবা ধনাত্মক দুই-ই হতে পারে এবং দুই ক্ষেত্রেই বিক্রিয়া হওয়া সম্ভব।

5.3 প্রাণশক্তিতে আরোপিত কিছু উপাদান

১। জল যখন কোন প্রাণ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় একটি বিকারক বা উৎপাদক তখন জলের গাঢ়ত্ব ধরে নেওয়া হয় 1.0, যদিও জলীয় লঘু দ্রবণে জলের গাঢ়ত্ব 55.5 (M).

২। প্রাণশক্তিতে pH = 7-কেই প্রামাণিক pH ধরা হয় যেখানে রসায়ন অন্যান্য হিসাবে pH = 0 (অর্থাৎ 1.0 M হাইড্রোজেন আয়ন)-কেই প্রামাণিক pH ধরা হয়।

৩। 'স্ট্যান্ডার্ড ফ্রি একটি চেঞ্জ' (প্রমাণ মুক্ত শক্তি পরিবর্তন) অর্থাৎ ΔG°-কে তাই প্রাণরসায়নে $\Delta G^{\circ\prime}$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়। $\Delta G^{\circ\prime}$ গণনার সময়েও pH = 7 ধরে গণনা করা হয়ে থাকে।

৪। ইদানীংকালে ক্যালোরি/মোল-এর পরিবর্তে আন্তর্জাতিক একক জুল/মোল অথবা কিলোজুল/মোল-এ প্রাণশক্তির পরিমাণ প্রকাশ করা হয় (1 ক্যালোরি ≡ 4.814 J (জুল); 1 K Cal ≡ 4.814 KJ.)

5.4 ΔG°-র যোগফল

যদি একটির পর একটি বিক্রিয়া শৃঙ্খলাবদ্ধভাবে ঘটতে থাকে তাহলে প্রত্যেকটি বিক্রিয়ার $\Delta G^{\circ\prime}$-এর মান যোগ করলে প্রথম বিকারক থেকে শেষ উৎপন্ন দ্রব্য পেতে কত $\Delta G^{\circ\prime}$ হবে, তো পাওয়া যাবে।

উদাহরণ হিসাবে নিম্নলিখিত বিক্রিয়াটি দেখানো হল—

$$A + B \rightarrow C \qquad \Delta G_1^{\circ\prime}$$

$$C + D \rightarrow E \qquad \Delta G_2^{\circ\prime}$$

$$E + F \rightarrow G \qquad \Delta G_3^{\circ\prime}$$

$$A + B \rightarrow G \qquad \Delta G^{\circ\prime} = \Delta G_1^{\circ\prime} + \Delta G_2^{\circ\prime} + \Delta G_3^{\circ\prime}$$

আবার, 'স্ট্যান্ডার্ড ফ্রি এনার্জি অফ ফরমেশন' ΔG°_f থেকেও $\Delta G^{\circ\prime}$-এর হিসাব সম্ভব।

উদাহরণ— Fumarate + $H_2O \rightleftharpoons$ malate

ফিউমারেট + $H_2O \rightleftharpoons$ ম্যালেট

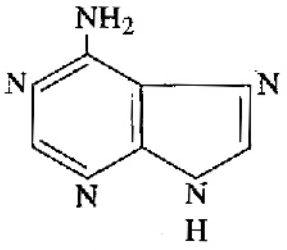
$$\Delta G^{\circ\prime} = \Delta G^{\circ}_{f\ \text{ম্যালেট}} - (\Delta G^{\circ}_{f\ \text{ফিউমারেট}} + \Delta G^{\circ}_{f}\ H_2O)$$

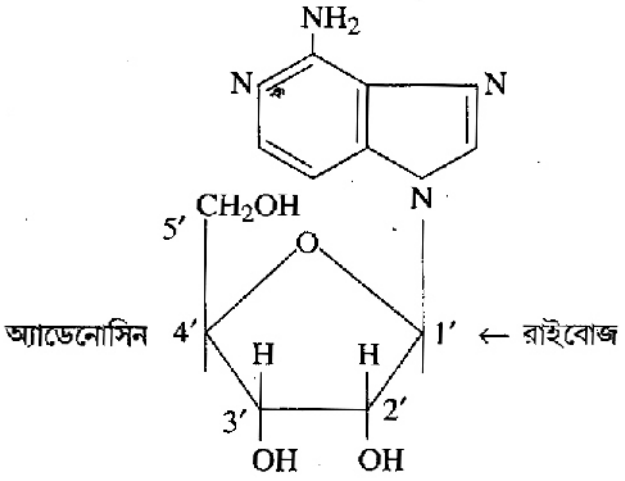
যদিও এই $\Delta G^{\circ\prime}$-এর মানটি সম্পূর্ণ সঠিক হবে না।

5.5 সঞ্চিত প্রাণশক্তির প্রাণরাসায়নিক রূপ

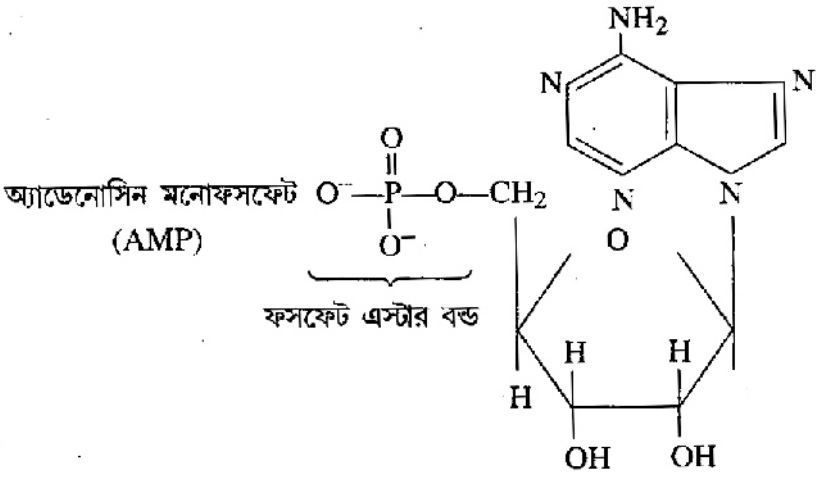
অ্যাডেনোসিন মনো ফসফেট, অ্যাডেনোসিল ডাইফসফেট এবং অ্যাডেনোসিনট্রাইফসফেট-এর তিনটি অণু নিয়েই সাধারণতঃ প্রাণশক্তির সঞ্চিত রাসায়নিক রূপের আলোচনা। যদিও আরও কিছু অণু ও তাদের গঠন সংকেত ও ΔG°-এর মানও আমাদের জানতে হবে।

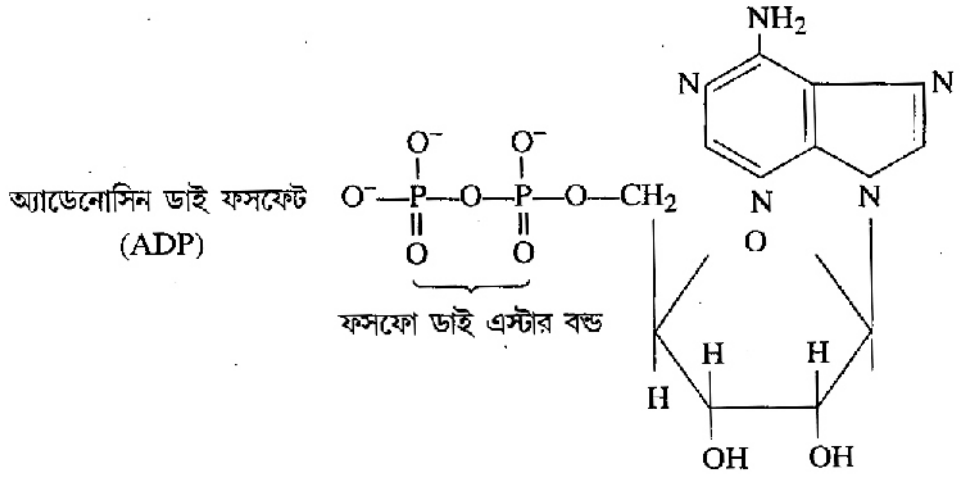
অ্যাডেনেসিন

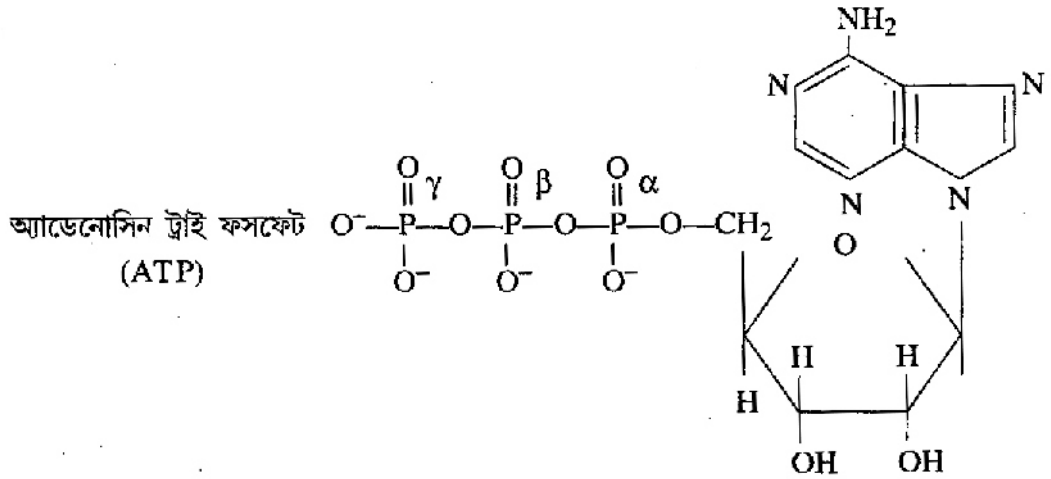




অ্যাডেনোসিন ← রাইবোজ


অ্যাডেনোসিন মনোফসফেট
(AMP)
ফসফেট এস্টার বন্ড


অ্যাডেনোসিন ডাই ফসফেট
(ADP)
ফসফো ডাই এস্টার বন্ড


অ্যাডেনোসিন ট্রাই ফসফেট
(ATP)

1930 সালে জার্মান বায়োকেমিস্ট অটো ভার বুর্গ (Otto War burg) এবং অটো মেয়ার হফ্ (Otto Meyer hoff) প্রথম দেখান যে গ্লুকোজকে বাতাসের অনুপস্থিতিতে প্রাণ রাসায়নিক উপায়ে ভাঙলে ATP পাওয়া যায় সঙ্গে আরেকটি বিক্রিয়া থেকে (Coupled reaction). কিছুদিন পরে এইচ. কালকার (H. Kalckar, ডেনমার্ক) ও ভি. বেলিস্টার (V. Belister, সোভিয়েত ইউনিয়ন) দেখালেন পেশীতে গ্লুকোজ অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ভাঙলে ATP পাওয়া যায়। ADP থেকে অন্য আর একটি বিক্রিয়ায় (Coupled reaction). ভি. এ. ইঙ্গলহার্ট (V. A. Englehardt) দেখালেন পেশীর মায়োসিন তন্তুর সঙ্কোচনে ATP আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে ADP প্রস্তুত করছে।

আরও অনেকগুলি পরীক্ষামূলক পর্যবেক্ষণের পরে 1941 সালে ফ্রিৎজ লিপম্যান (Fritz Liplmann) এই উপসংহারে এলেন যে,

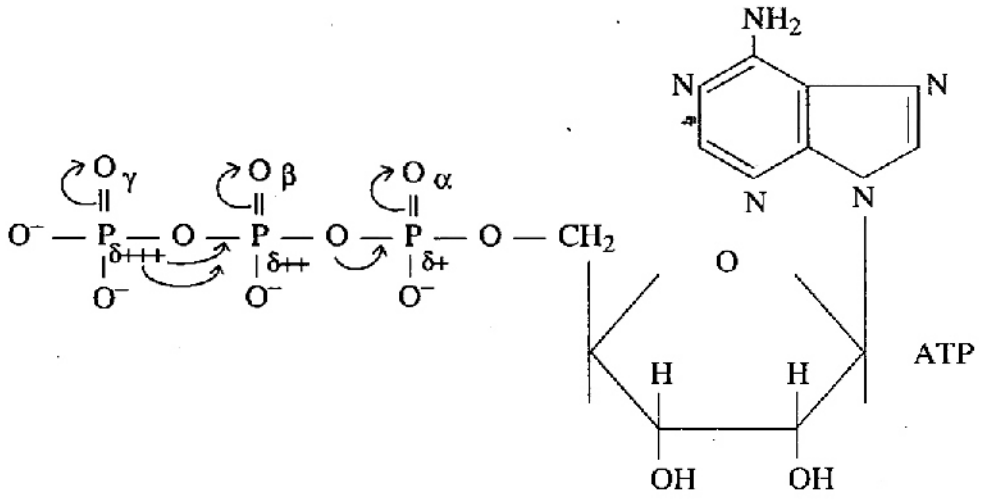
(1) ATP—বৃত্তাকারে রাসায়নিক শক্তি সংগ্রহ করে নিয়ে যায় কোষের বিভিন্ন বিক্রিয়ায় যেখানে শক্তির প্রয়োজন আছে। আর যেখানে শক্তি উৎপন্ন হচ্ছে সেখানে ATP তৈরি হবে।

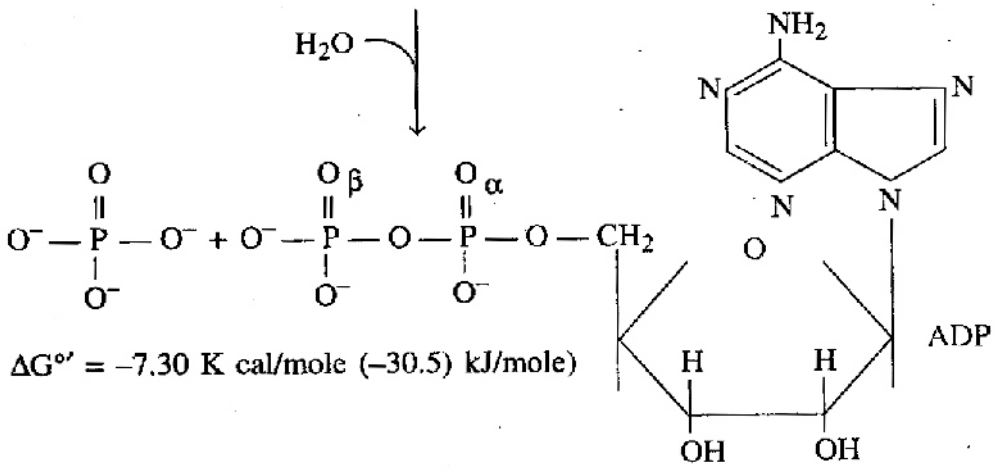
(2) খাদ্য অণুগুলির বিশ্লেষণের (সরলীকরণের) ফলে উৎপন্ন শক্তি ATP উৎপন্ন করে ADP-কে আরেকটি ফসফেট (Pi) (Phosphate inorganic) দিয়ে।

(3) যেখানে শক্তির প্রয়োজন ATP অণুর শেষ (r) ফসফেটটি ভেঙ্গে ADP ও Pi করে ও শক্তি দেয়।

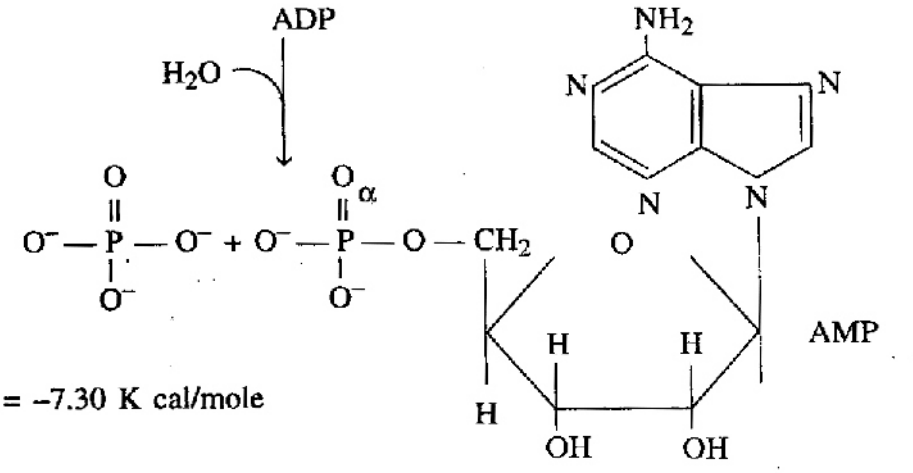
(4) জীবিত কোষের সকল রকম ক্রিয়ায় [—(i) রাসায়নিক বিক্রিয়া, (ii) অণুর আদানপ্রদান—কম ঘনত্ব থেকে বেশী ঘনত্বের দিকে আদানপ্রদান, (iii) যান্ত্রিক ক্রিয়া, (iv) বৈদ্যুতিক ক্রিয়া ইত্যাদি—] ATP-ই প্রাণ শক্তির উৎস।

এখন দেখা যাক্ ATP-আর্দ্রবিশ্লেষণ-এ কী ঘটে?

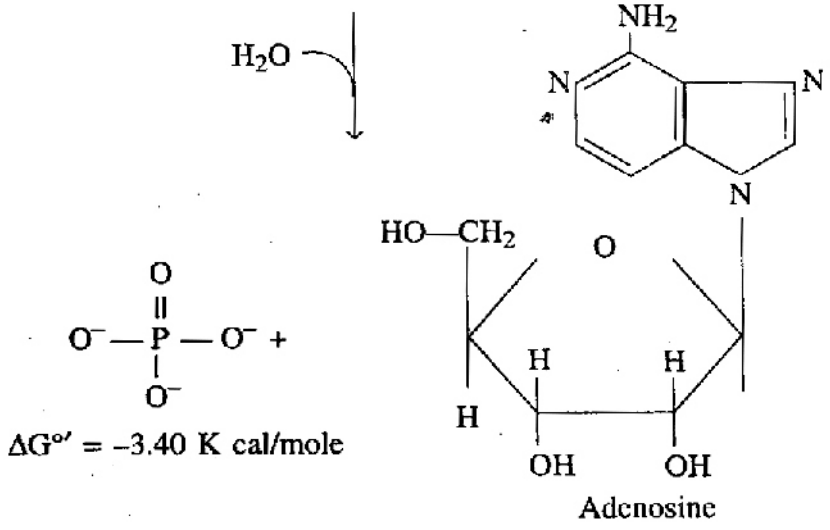




$\Delta G^{\circ\prime}$ = –7.30 K cal/mole (–30.5) kJ/mole)

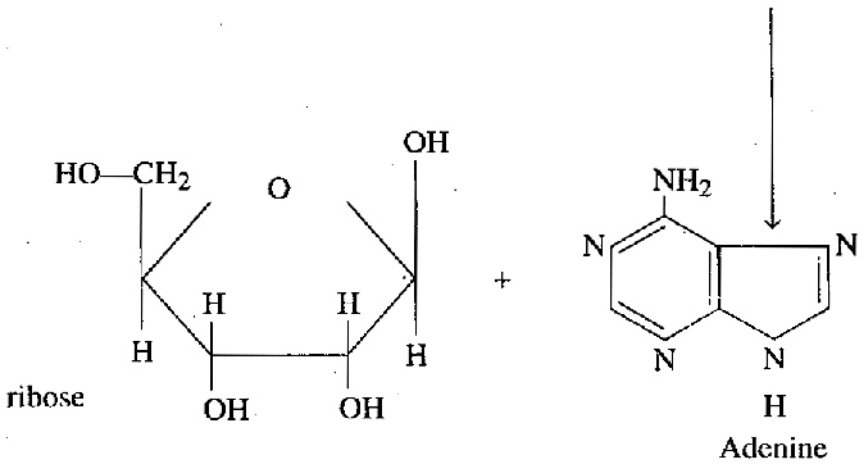


$\Delta G^{\circ\prime}$ = –7.30 K cal/mole

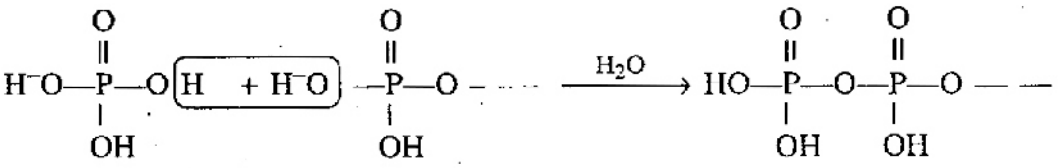


$\Delta G^{\circ\prime}$ = –3.40 K cal/mole

Adenosine



α-ফসফেট ও β-ফসফেটের মধ্যে আছে অ্যানাহাইড্রাইড বন্ড (বা অনার্দ্র বন্ধনী) অর্থাৎ α-ফসফোরিক অ্যাসিড গ্রুপ ও অন্য একটি ফসফোরিক অ্যাসিডের মধ্যে থেকে একটি জল সরে গিয়ে ঐ বন্ডটি হয়েছে



একই রকম বন্ড আছে β ও γ ফসফেট গ্রুপের মধ্যে। এই বন্ডের বন্ডশক্তি অনেক বেশি হয়। তাই এই বন্ড ভাঙ্গলে 7.3 K cal/mol শক্তি নির্গত হয়।

কিন্তু α ফসফেট ও 5'–CH_2OH গ্রুপের মধ্যে আছে এস্টার বন্ড যা ভাঙ্গলে মাত্র 3.4 K cal/mol শক্তি নির্গত হয়।

তাই ATP-র γ ও β-ফসফেট গ্রুপই প্রধানতঃ শক্তির উৎস ও সঞ্চিত শক্তি।

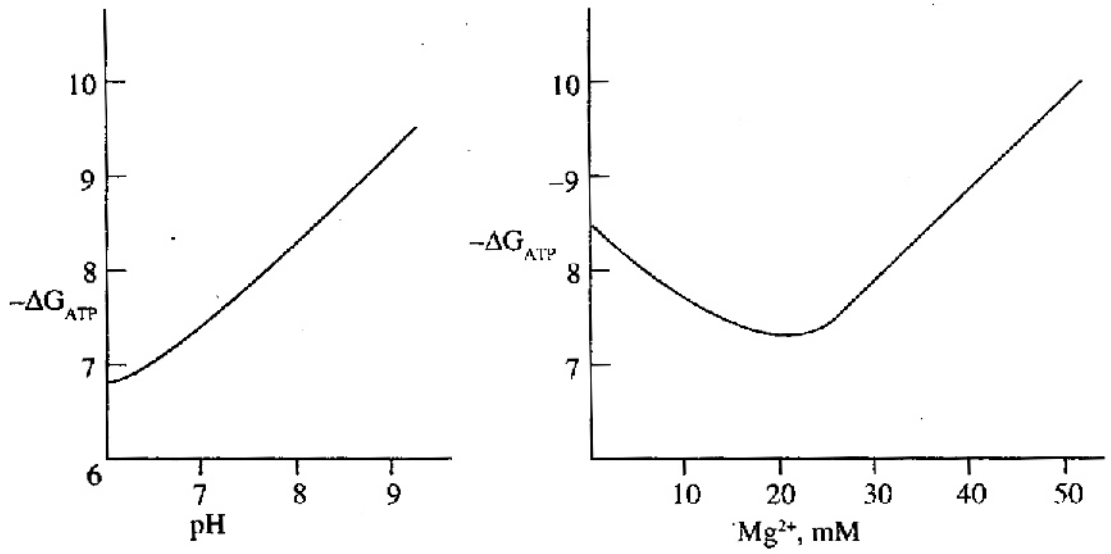
γ-ফসফেট গ্রুপটি ভাঙ্গেও সহজে। কারণ কি?

কারণ—

1. pH = 7-এ α-P-এ 1টি, β-P-এ 1টি ও γ-P 1টি OH আয়নিত অবস্থায় থাকে ও γ-P আরেকটি –OH 50% আয়নিত অবস্থায় থাকে; সুতরাং একটি অণুতে 3.5টি ঋণাত্মক তড়িৎ অণুটিকে ভঙ্গুর করেছে—ঋণাত্মক তড়িৎ আধানগুলির মধ্যে বিকর্ষণই এর কারণ।
2. ADP ও Pi-তে রেসোনেন্স গঠনসংকেতের সংখ্যা বেশি, ATP-র রেসোনেন্স গঠন সংকেতের সংখ্যার তুলনায়। তাই ATP অণুটি ভেঙ্গে সহজে ADP ও Pi দেয়।

3. ATP-র তুলনায় ADP ও Pi তাড়াতাড়ি জলের অণু দ্বারা হাইড্রেটেড দেয়।
4. γ-ফসফেটটির ইলেকট্রন আকর্ষণ-এর ক্ষমতা খুব বেশি। তাই শেষ ফসফো ডাই এস্টার বন্ডটি সহজে ভাঙ্গে। (পৃঃ 9-এর ছবি)

তবে এই বিশ্লেষণে pH ও Mg^{+2}-এর একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে। pH বৃদ্ধির সঙ্গে $-\Delta G$ বৃদ্ধি পায়। 7-এর কাছাকাছি pH সবথেকে কম $-\Delta G$ এই বিশ্লেষণের। 20 mM Mg^{2+}-এর উপস্থিতিতে এই শক্তি পাওয়া সম্ভব। সজীবকোষে ATP, ADP ও AMP-র গাঢ়ত্ব 1.0 (M) একেবারেই নয়—বরং অনেক কম। সেই গাঢ়ত্ব, pH = 7 ও Mg^{2+} এর গাঢ়ত্ব 20 mμ হিসাব করলে মুক্ত শক্তির পরিমাণ হয় –12.5 K cal/mole. **তবুও একটি নির্দিষ্ট মান ব্যবহার করার জন্য সজীব কোষে ATP বিশ্লেষণের $\Delta G^{\circ\prime}$-এর মান –7.3 K cal/mole-ই ব্যবহার করতে হবে।**



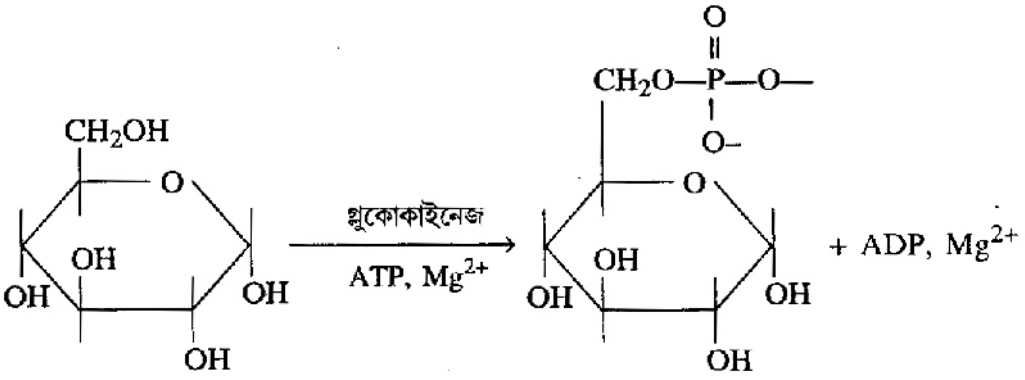
চিত্র 5.2

pH ও Mg^{+2} এর গাঢ়ত্ব-এর সঙ্গে ΔG_{ATP}-র মান দেওয়া হল। এখানে $-\Delta G_{ATP}$ বলা হল, কারণ ΔG° নয়, যেহেতু 1M নয় কারোর গাঢ়ত্ব।

5.6 ATP-র সৃষ্টি ও লয়

ATP-তে সঞ্চিত শক্তি অর্থাৎ রাসায়নিক শক্তি নির্গত হলে আমাদের শরীরের তাপমাত্রা রক্ষিত হয় অর্থাৎ তাপশক্তিতে পরিণত হয়।

ATP-তে সঞ্চিত শক্তি কিভাবে সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয় তার উদাহরণ দেওয়া হল—

1. 

2. $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—\underset{\underset{O}{\|}}{C}—OH$ + 8H—CoA

ফ্যাটি অ্যাসিড

কোএনজাইম A
(প্যান্টথেনিক অ্যাসিডের
সহউৎসেচকরূপ)

ATP

AMP + PPi

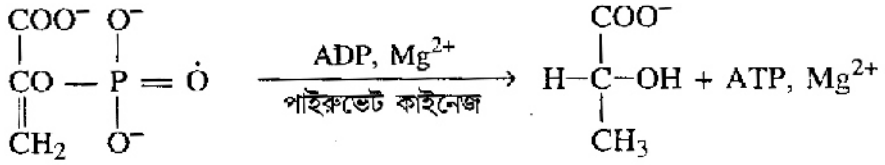
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH—\underset{\underset{O}{\|}}{C}—SCoA$

পাইরোফসফেট (PPi) $O^-—\overset{\overset{O}{\|}}{P}—O—\overset{\overset{O}{\|}}{P}—O^-$ আবার আর্দ্রবিশ্লেষিত হয় পাইরো ফসফাটেজ দ্বারা এবং অনেক শক্তি উৎপন্ন করে যাতে সম্পূর্ণ বিক্রিয়াটি উৎপাদকের দিকে চালিত হয়

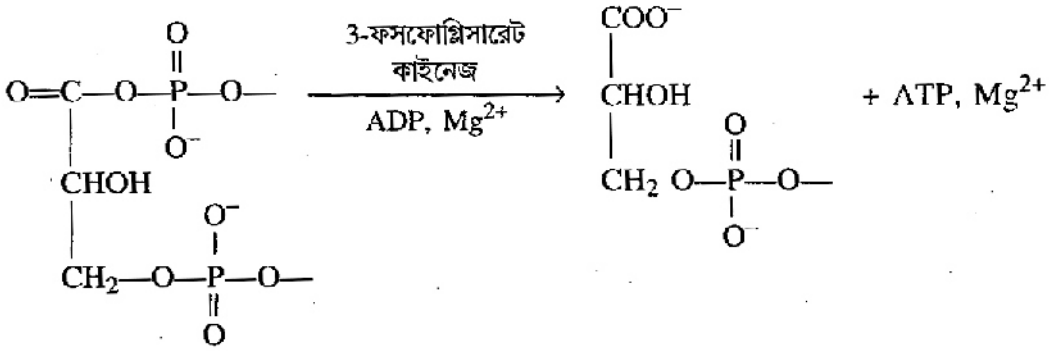
$$PPi \xrightarrow[H_2O]{\text{আর্দ্র বিশ্লেষণ}} 2Pi$$

প্রথম বিক্রিয়াটিতে (i) ATP-র বিশ্লেষণের ফলে উৎপন্ন শক্তি গ্লুকোজে ফসফেট যোগ করতে ব্যবহৃত হয়। দ্বিতীয় বিক্রিয়াটিতে (ii) ATP ও PPi-এর বিশ্লেষণের ফলে উৎপন্ন শক্তি ব্যাপিত হয় ফ্যাটি অ্যাসিডে কোএনজাইম A যুক্ত করতে।

যে সব বিক্রিয়ার শক্তি নিয়ে ATP সৃষ্টি হতে পারে তার উদাহরণ দেওয়া হল—

i) 

ফসফোইনলপাইরুভেট পাইরুভেট

ii) 

3-ফসফোগ্লিসারইল ফসফেট

তাহ'লে উপরিউক্ত অণুগুলিতে অনেক বেশি শক্তি আছে — চিহ্নিত বন্ডগুলিতে এবং সেই বন্ড ভেঙ্গে যে শক্তি নির্গত হবে তা ATP-তে সঞ্চিত থাকবে প্রয়োজনে ব্যবহৃত হবে বলে।

5.7 ATP ব্যতীত উচ্চশক্তিসম্পন্ন প্রাণরাসায়নিক অণু

অণু	$-\Delta G^{o\prime}$ (K cal/mole)
ফসফোইনলপাইরুভেট	– 14.8
3-ফসফোগ্লিসারইল ফসফেট	– 11.8
[1,3-বিস্‌ফসফোগ্লিসারেট]	
ফসফোক্রিয়েটিন	– 10.3
ATP (ADP + Pi)	– 7.3
ADP (AMP + Pi)	– 7.3
AMP (অ্যাডেনোসিন + Pi)	– 3.4

ATP	(AMP + PPi)	– 10.9
PPi	($2\dot{P}i$)	– 4.0
গ্লুকোজ-1-ফসফেট		– 5.0
গ্লুকোজ-6-ফসফেট		– 3.3
অ্যাসিটাইল-SCOA		7.5

[থায়োএস্টার বন্ডের শক্তি এস্টার বন্ডের থেকে বেশি]

5.8 সারাংশ

- সজীব কোষের যেকোন ক্রিয়ার প্রয়োজনীয় শক্তি আসে সাধারণতঃ ATP থেকে। কখনও কখনও অন্যান্য কিছু জৈব অণুও ব্যবহৃত হয়।
- সজীব কোষের কিছু বিক্রিয়ায় সবসময়ই ATP অণুর সৃষ্টি হচ্ছে।
- প্রাণরসায়নে ΔG° কে $\Delta G^{\circ\prime}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয় যেহেতু pH = 7 কেই স্ট্যান্ডার্ড ফ্রি এনার্জি চেঞ্জের গণনায় গণ্য করা হয়।
- সব বিক্রিয়াই – ΔG-র দিকে ধাবিত হবে।

5.9 প্রশ্নাবলি

বস্তুমুখী প্রশ্ন (Objective type question) :

1. নীচের অণুগুলিকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ অনুযায়ী সাজাতে হবে—

   ATP, ADP, 1,3 বিস্‌ফসফোগ্লিসারেট, অ্যাসিটাইল SCoA, গ্লুকোজ-6-ফসফেট, ফসফোইনল পাইরুভেট।

2. ATP বিশ্লেষণে সর্বাপেক্ষা বেশি – ΔG° যখন pH 2, 4, 6, 8, 10.
3. ATP বিশ্লেষণে সর্বাপেক্ষা বেশি – ΔG যখন Mg^{2+} 6 mM, 10 mM, 20 mM, 30 mM, 40 mM.
4. ATP বিশ্লেষণ তাড়াতাড়ি হয়, কারণ

   i) ADP বেশি স্থায়ী

   ii) ATP ভাঙ্গলে শক্তি নির্গত হবে

iii) ATP-র গঠন অস্থায়ী

iv) ATP-তে তড়িৎ আধান বেশি আছে।

বিষয়মুখী প্রশ্ন (Subjective type question) :

1. সজীবকোষে মুক্ত শক্তির পরিবর্তন বলতে কী বুঝায়?
2. ATP-র সৃষ্টি ও লয়ের দুইটি করে উদাহরণ লিখুন।
3. ATP-র গঠন সংকেতটির বিশদ আলোচনা লিখুন।
4. তাপগতিবিদ্যার প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রের প্রয়োগ করুন প্রাণরাসায়নিক বিক্রিয়ায়।
5. সাম্যাবস্থার ধ্রুবকের সঙ্গে মুক্তশক্তির পরিবর্তনের কী সম্পর্ক?

[সংশ্লিষ্ট একক ও তার অংশ থেকে উত্তরগুলি সহজেই খুঁজে পাবেন]

একক 6 ❑ বিপাক ক্রিয়া — কার্বোহাইড্রেট অপচিতি (Metabolism — Carbohydrate Catabolism)

গঠন

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

6.2 গ্লাইকোলিসিসের পূর্ববর্তী অধ্যায়—পলিস্যাকারাইড থেকে মনোস্যাকারাইড

6.3 গ্লাইকোলিসিস বা এম্‌ডেন মেয়ারহফ পথ

6.4 সারাংশ

6.5 প্রশ্নাবলি

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা : একক 5-এ আমরা শক্তি, শক্তির সৃষ্টি ও লয় নিয়ে আলোচনা করেছি। এই এককে আমরা দেখব শক্তির উৎস কোথায়? আমরা যে খাদ্য গ্রহণ করি তাকে শক্তির উৎস হিসেবে দেখলে মোটামুটি তিনভাগে ভাগ করা যায়—

(1) কার্বোহাইড্রেট

(2) প্রোটিন

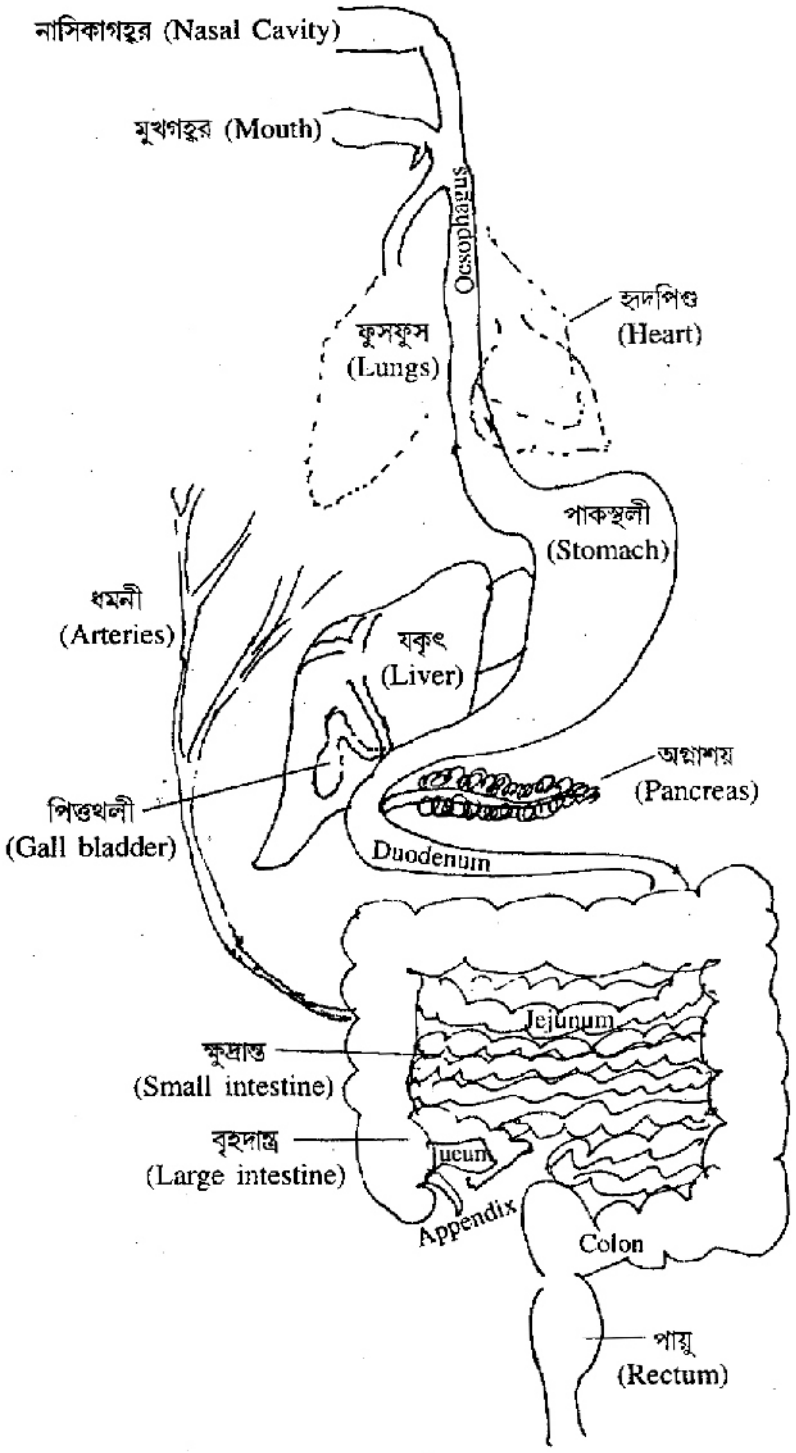
(3) লিপিড

এই তিন প্রকারের প্রাণরসায়ন অণুর সম্পর্কে আমরা একক 2 এবং 4-এ বিশদভাবে আলোচনা করেছি—তাদের রাসায়নিক গুণাগুণ নিয়ে। এই এককে কার্বোহাইড্রেট কিভাবে বিপাক ক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে ও শক্তির উৎস হিসাবে ব্যবহৃত হয় তা দেখব।

উদ্দেশ্য : এই এককের শেষে আপনাদের খাদ্যে কার্বোহাইড্রেট, শরীরে কার্বোহাইড্রেটের প্রয়োজনীয়তার সম্বন্ধে প্রাথমিক ধারণা জন্মাবে।

6.2 গ্লাইকোলিসিসের পূর্ববর্তী অধ্যায়—পলিস্যাকারাইড থেকে মনোস্যাকারাইড

মানুষ মুখগহ্বরে যখন পলিস্যাকারাইড অর্থাৎ স্টার্চ (চাল ইত্যাদি) অথবা গ্লাইকোজেন (প্রাণিজ কার্বোহাইড্রেট) গ্রহণ করে সেখানে অ্যামাইলেজের (টায়ালিন নামক উৎসেচক) সাহায্যে মল্টোজ



চিত্র 6.1

(ডাইস্যাকারাইড) করতে পারে। ডিওডেনামে চর্বিত খাদ্য এলে প্যানক্রিয়াসজাত উৎসেচক অ্যামাইলেজ ও মল্টোজ উৎপন্ন করে। ক্ষুদ্রান্ত্রেই মল্টোজ থেকে গ্লুকোজ হয় মল্টেজ দিয়ে। এই গ্লুকোজ শোষিত হয় ক্ষুদ্রান্ত্র-এর ভিলি (Villi) দ্বারা এবং ধমনীর সাহায্যে শরীরের বিভিন্ন প্রান্তে পৌঁছায় শক্তি সরবরাহের জন্য।

বিভিন্ন কোষে গ্লুকোজ পৌঁছবার পর বিপাকক্রিয়া শুরু হয়।

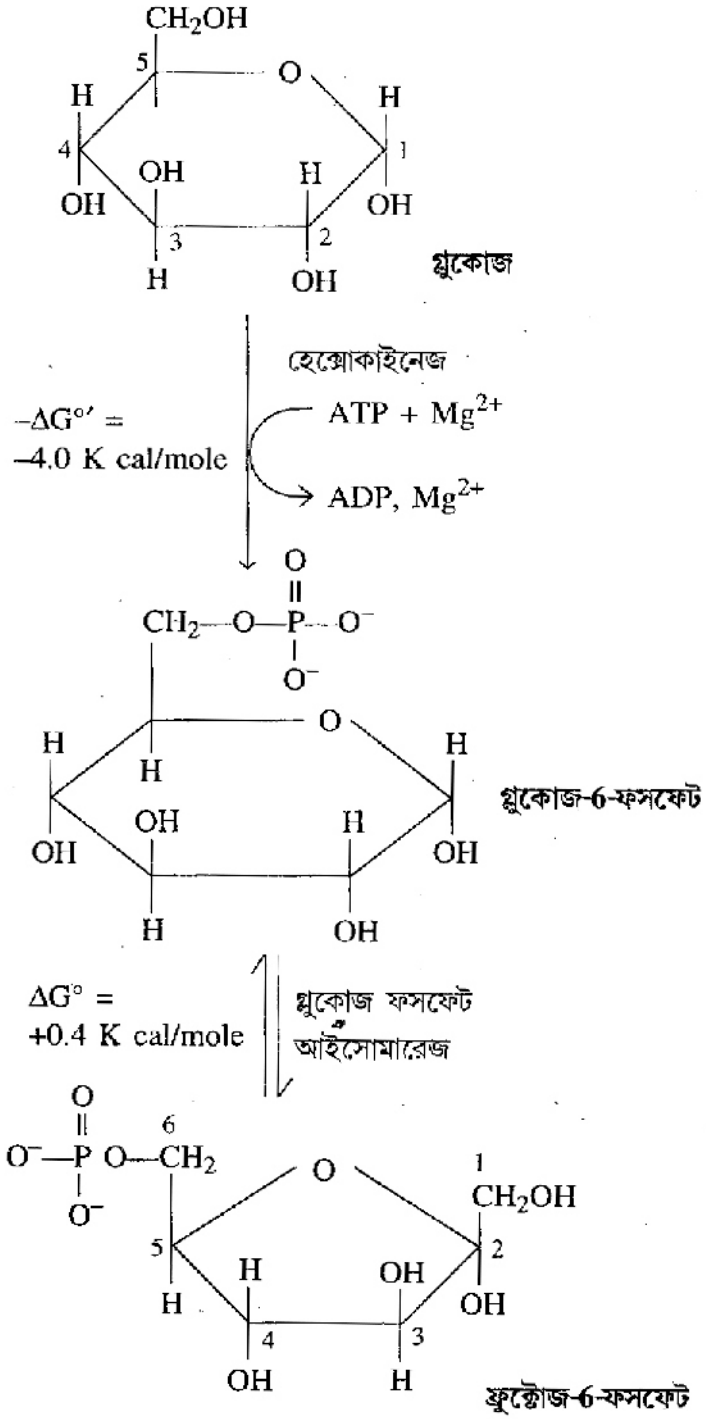
গ্লুকোজ থেকে পাইরুভিক অ্যাসিড তথা পাইরুভেট হওয়া পর্যন্ত পথটির নাম গ্লাইকোলিসিস। এটি একটি ধারাবাহিক বিক্রিয়ায় চলে যেখানে আমরা ΔG°-যোগ করে মোট ΔG°-নির্ণয় করতে পারি। প্রত্যেকটি ধাপে নির্দিষ্ট উৎসেচক আছে বিক্রিয়ার জন্য।

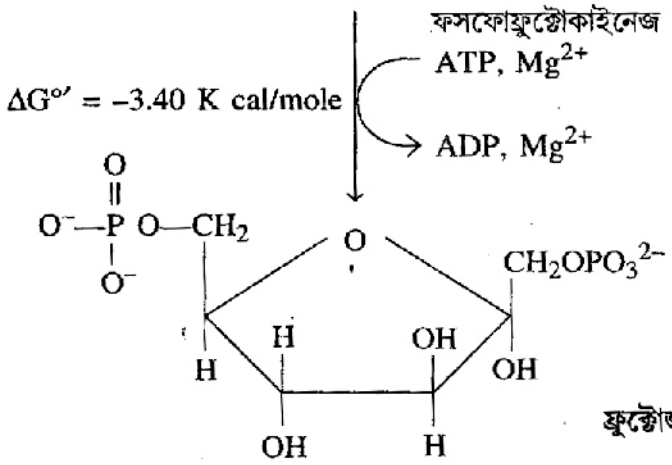
6.3 গ্লাইকোলিসিস্ বা এম্‌ডেন মেয়ারহফ পথ

হেক্সোকাইনেজ উৎসেচকটি যেকোন হেক্সোজকেই ফসফো-রিলেশনে সাহায্য করতে পারে। অর্থাৎ এইটি ম্যানোজ, ফ্রুক্টোজ ইত্যাদিকেও ফসফোরাইলেট করতে পারে। এটি একটি রেগুলেটরি উৎসেচক। বেশি গ্লুকোজ-6-ফসফেট থাকলে তা এই উৎসেচকের কাজ বন্ধ করে দিতে পারে।

গ্লুকোকাইনেজ বিশেষভাবে গ্লুকোজকেই ফসফোরাইলেট করতে পারে। এটি লিভারে থাকে, কিন্তু পেশিতে থাকে না। এটির K_M গ্লুকোজের জন্য 10 mM, যেখানে হেক্সোকাইনেজের K_M গ্লুকোজের জন্য 100 μM; অতএব হেক্সোকাইনেজটি বেশি কার্যকরী। কম K_m এর অর্থ কম সাবস্ট্রেটেই ½Vmn-এর পৌঁছান যাবে। উপরন্তু গ্লুকোকাইনেজ ডায়াবেটিস মেলিটাস-এ আক্রান্ত রোগীদের দেহে পাওয়া যায় না।

ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ একটি অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক; ATP, সাইট্রিক অ্যাসিড, ফ্যাটি অ্যাসিড বেশি থাকলে এর কাজ বন্ধ হয়ে যায়। অন্যদিকে ADP ও AMP বেশি থাকলে এর কাজ বেশি হয়।



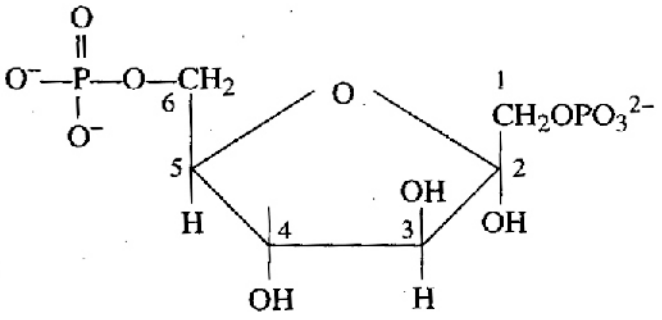


ফ্রুক্টোজ-1,6-বিস্‌ফসফেট

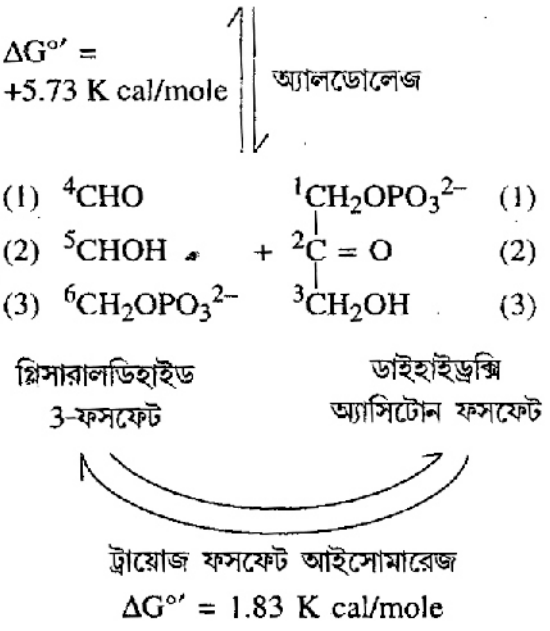
এই বিক্রিয়ায় গ্লুকোজের 6টি কার্বন ভেঙ্গে দুটি 3-কার্বন-এর যৌগ গঠিত হল। কার্বনের সংখ্যাগুলি গ্লুকোজে যা ছিল, তাও নতুন যৌগগুলিতে দেখান আছে। বন্ধনী মধ্যস্থ সংখ্যাগুলি নতুন যৌগের কার্বনের সংখ্যা।

এই উৎসেচকটি দুটি, তিন কার্বন অণুকে একটি থেকে অন্যটিতে রূপান্তরিত করতে পারে। পরবর্তী বিক্রিয়া শুরু হবে গ্লিসারালডিহাইড থেকে এবং ডাই হাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট গ্লিসারালডিহাইডে রূপান্তরিত হতে পারবে। অর্থাৎ 1টি গ্লুকোজ অণু থেকে এখন 2টি গ্লিসারালডিহাইড পাওয়া যাবে।

পরবর্তী পর্যায়ের বিক্রিয়া হবে নিম্নরূপ—



ফ্রুক্টোজ-1,6-বিসফসফেট



গ্লিসারালডিহাইড ও ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ —CHO গ্রুপকে জারিত করে —COOH করে। তাই প্রথমে অস্থায়ী অণু হিসাবে তৈরী হয়।

COO^-
|
CHOH
|
$CH2OPO_3^{2-}$

3-ফসফোগ্লিসারেট

এই অণুটি H_3PO_4-এর সঙ্গে অ্যাসিড অ্যাসহাইড্রাইড বন্ড প্রস্তুত করে কার্বন-1-এ। তাই ঐ বন্ডটিকে ভাঙ্গলে উচ্চ শক্তি নির্গত হয় যা ATP-তে সঞ্চিত হয় পরবর্তী ধাপে।

জারণ হলে বিজারণও হওয়া প্রয়োজন। ডিহাইড্রোজিনেজকে এই ব্যাপারে সাহায্য করে সহউৎসেচক NA^+D. NAD^+ বিজারিত হয়ে NADH হয় ও একটি H^+ হয় ($H : H \rightarrow H: + H^+$)।

এই উৎসেচকটিও অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক। NAD^+ বেশি থাকলে এই উৎসচকটি বেশি কাজ করে।

^1CHO
|
2 ^2CHOH
|
$^3CH_2OPO_3^{2-}$

গ্লিসারালডিহাইড-3-ফসফেট

H_3PO_4
$\Delta G^{o\prime}$ = 1.5 K cal/mole
গ্লিসারালডিহাইড-3 ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ
$2NAD^+$
$\rightarrow 2NAOH + 2H^+$

$^1COOPO_3^{2-}$
|
2 ^2CHOH
|
$^3CH_2OPO_3^{2-}$

1,3-বিস্ ফসফোগ্লিসারেট

$\Delta G^{o\prime}$ = 4.5 K cal/mole
ফসফোগ্লিসারেট কাইনেজ
$2ADP, 2Mg^{2+}$
$\rightarrow 2ATP$

$^1COO^-$
|
2 ^2CHOH
|
$^3CH_2OPO_3^{2-}$

3-ফসফোগ্লিসারেট

$\Delta G^{o\prime}$ = 1.06 K cal/mole
ফসফোগ্লিসারেট মিউটেজ, Mg^{2+}

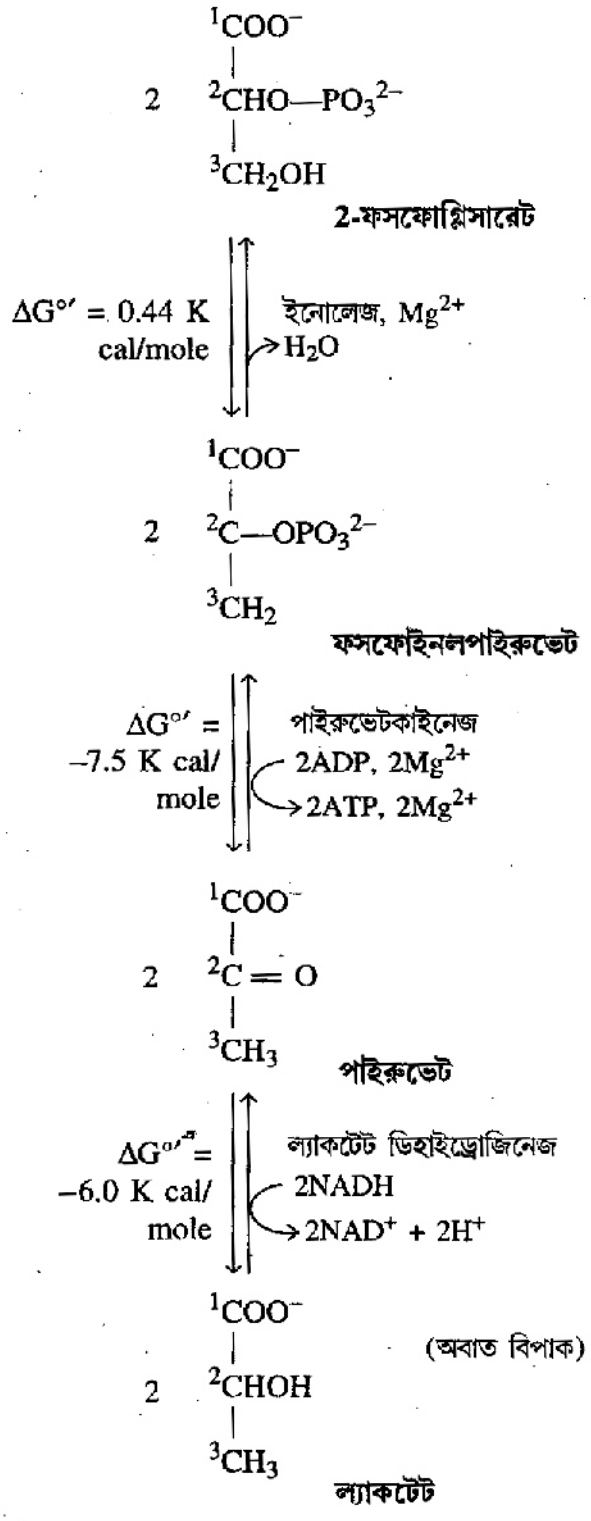
$^1COO^-$
|
2 $^2CHOPO_3^{2-}$
|
$^3CH_2OH$

2-ফসফোগ্লিসারেট

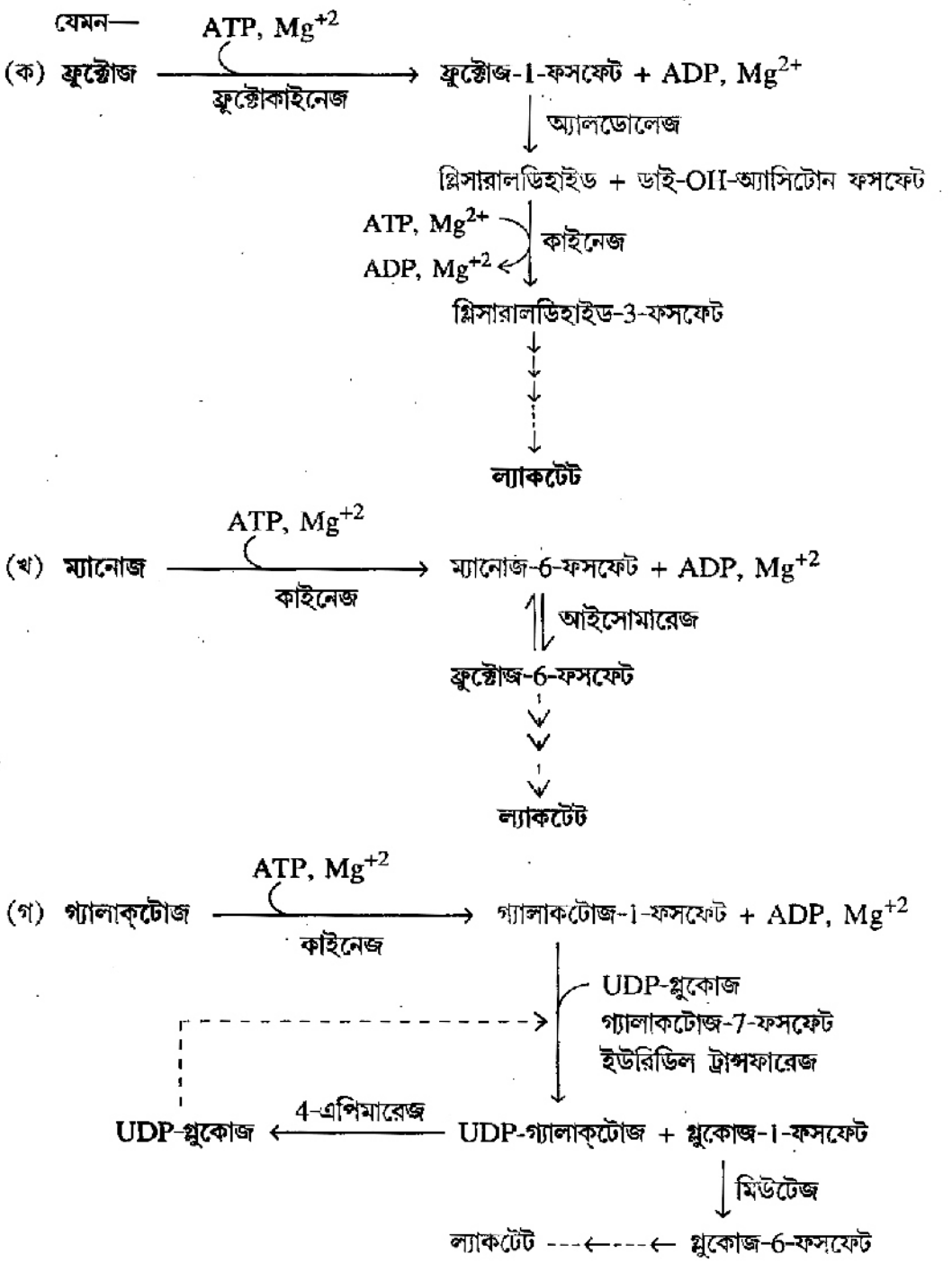
পাইরুভেট কাইনেজ আবার একটি রেগুলেটরি উৎসেচক। ফসফোইনল পাইরুভেট অথবা 1, 6 বিস্ ফসফেট-ফ্রুক্টোজ থাকলে উৎসেচকটি বেশি কাজ করে। অন্যদিকে ATP, সাইট্রেট, ফ্যাটিঅ্যাসিড, অ্যাসিটাইল SCOA বেশি থাকলে উৎসেচকটির কাজ বন্ধ হয়ে যায়।

সমগ্র বিক্রিয়াটি পর্যালোচনা করলে দেখা যাবে 1 অণু গ্লুকোজ থেকে 2 অণু ল্যাকটেট, 4 অণু ATP ও 2 অণু NADH ও 2 অণু H_2O প্রস্তুত হয়েছে। বিক্রিয়াটিতে লেগেছে 2 অণু ATP ; তাই মোট লাভ এই ক্ষেত্রে 4ATP – 2ATP = 2ATP ; 2 অণু NAOH ল্যাকটেট প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়ে $2NAD^+$ প্রস্তুত করে।

এই পর্যন্ত বিক্রিয়াটি কোষের সাইটোপ্লাজমে হয়। এই পর্যন্ত কোন O_2 লাগে না। তাই একে অ্যানিরোবিক বিপাক বলা হয়। যে, সকল ধাপে $\Delta G^{o\prime}$ এর মান বেশি ঋণাত্মক সাধারণতঃ সেই বিক্রিয়াগুলি হয় স্বতঃস্ফূর্ত এবং একমুখী। প্রস্তুত অ্যাসিডগুলি

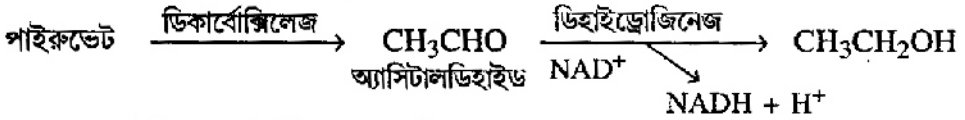


শারীরবৃত্তীয় pH (7.4)-এ আয়নিত অবস্থায় থাকে বলে লবণের মত নাম। (ল্যাকটি অ্যাসিড নয় ল্যাকটেট) অন্য শর্করা ও গ্লাইকোলিসিস-এর পথে ATP ও ল্যাকটেট প্রস্তুত করতে পারে।



6.4 সারাংশ

- গ্লুকোজ অথবা যেকোন 6-কার্বন শর্করা গ্লাইকোলিসিসের মাধ্যমে সাইটোপ্লাজমে ল্যাকটেট প্রস্তুত করে।
- এটিতে কোন O_2 লাগে না এবং 2 অণু ATP পাওয়া যায়। 2 অণু NADH ও হয় যেটি পাইরুভেট থেকে ল্যাকটেট হতে ব্যবহৃত হয়।
- যে সব কোষে মাইটোকন্ড্রিয়া থাকে না, যেমন—RBC, কর্ণিয়া, চোখের লেন্স, সেখানে গ্লাইকোলেসিস-ই একমাত্র উপায় ATP সঞ্চয় করবার।
- এই পদ্ধতিতেই অ্যালকোহল প্রস্তুত করে ঈস্ট



অনেক ব্যাক্টেরিয়ারও এইটিই একমাত্র উপায় ATP প্রস্তুতের।

6.5 প্রশ্নাবলি

1. বস্তুমুখী প্রশ্ন (Objective type question) :

১। গ্লাইকোলিসিস কোথায় হয়?

২। গ্লাইকোলিসিসের প্রয়োজনীয়তা কি?

৩। গ্লাইকোলিসিসে জারক হিসাবে কে কাজ করে?

৪। এক অণু গ্লুকোজকে ল্যাকটেটে পরিণত করতে কয়টি ATP ও কয়টি NAD^+ লাগে?

৫। এই পথে কয়টি পাওয়া যায়?

2. বিষয়মুখী প্রশ্ন (Subjective type question) :

১। এম্‌ডেন মেয়ারহফ পথটিতে কি কি উৎসেচক ও সহউৎসেচক প্রয়োজন।

২। পথটির 3-কার্বন যৌগগুলির অপচিতির (Catabolism) ধাপগুলি লিখুন।

৩। পথটির উভমুখী (reversible) বিক্রিয়াগুলির সমালোচনা করুন।

[উত্তরগুলি সংশ্লিষ্ট একক ও একাংশ থেকে সহজেই সংগ্রহ করতে পারবেন]

একক 7 ❑ বিপাক ক্রিয়া — অ্যামিনো অ্যাসিড অপচিতি (Metabolism — Amino acid Catabolism)

গঠন

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

7.2 পলিমার থেকে মনোমার গঠন—প্রোটিন থেকে অ্যামিনো অ্যাসিড

7.3 কোষে অ্যামিনো অ্যাসিডের অপচিতি

7.3.1 ট্রান্সঅ্যামিনেশান

7.3.2 অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশান

7.3.3 ডিকার্বোক্সিলেশান

7.4 ইউরিয়া সাইকেল

7.5 সারাংশ

7.6 প্রশ্নাবলি

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

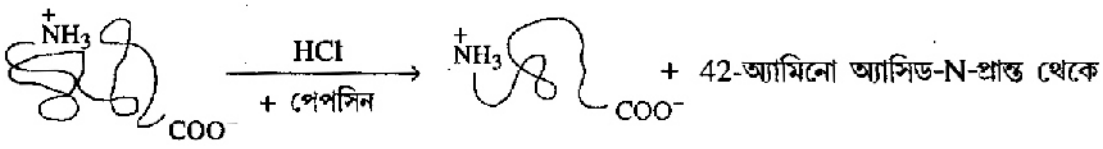
প্রস্তাবনা : মানুষের খাদ্য ও পুষ্টির মধ্যে অন্যতম কার্বোহাইড্রেট ও প্রোটিন। কার্বোহাইড্রেট সম্পর্কে পূর্ববর্তী এককে কিছু আলোচনা হয়েছে। প্রোটিন অন্য প্রাণীরও হতে পারে অথবা উদ্ভিদ প্রোটিনও হতে পারে। সব প্রোটিনই কতকগুলি অ্যামিনো অ্যাসিডের হেটারোপলিমার বলা যেতে পারে। এই পলিমার সোজাসুজি কোষে ঢুকতে পারে না—পলিমার থেকে মনোমার হলে তবেই কোষে ঢুকতে পারবে। কিভাবে মনোমার হবে ও কিভাবে কোষে ঢুকবার পরে অপচিতিতে অংশগ্রহণ করবে তাই এখানে আলোচনা করা হবে।

উদ্দেশ্য : এই এককটি পড়বার পরে জানা যাবে খাদ্য ও পুষ্টিতে প্রোটিনের এত গুরুত্ব কেন? প্রোটিন কোষের কোন্ কোন্ প্রাণরাসায়নিক অণু সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করে ইত্যাদি।

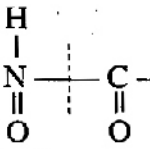
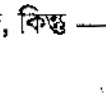
7.2 পলিমার থেকে মনোমার গঠন—প্রোটিন থেকে অ্যামিনো অ্যাসিড

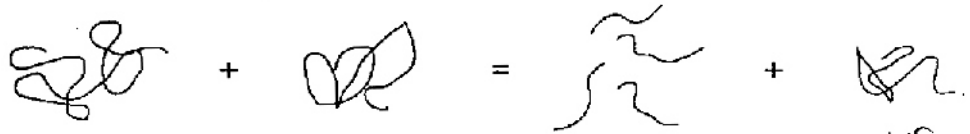
পূর্ববর্তী অধ্যায়ে দেখানো শারীরিক ব্যবচ্ছেদে পৌষ্টিক নালীতে—মুখগহ্বরে খাদ্যের প্রোটিনের কোন

পরিপাক ক্রিয়া হয় না। প্রোটিনের পরিপাক ক্রিয়া শুরু হয় স্টমাক অর্থাৎ পাকস্থলীতে। পাকস্থলীতে গুরুত্বপূর্ণ প্রোটিন বিশ্লেষণকারী উৎসেচকের (Proteolytic enzyme) নাম পেপসিন্। পেপসিন নিজে পেপসিনোজেন নামে নিষ্ক্রিয় অবস্থায় থাকে। পাকস্থলির অ্যাসিড (হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড 0.1 (M) পর্যন্তও হতে পারে) পেপসিনোজেন এবং কিছু সক্রিয় পেপসিনের উপস্থিতিতে সক্রিয় পেপসিন প্রচুর পরিমাণে প্রস্তুত করতে পারে। পেপসিনোজেনের N-প্রান্ত থেকে 42-টি অ্যামিনো অ্যাসিড কেটে বাদ দিয়ে দিলে প্রোটিনটি সক্রিয় পেপসিনে পরিণত হয়।



পেপসিনোজেন (Pepsinogen) — সক্রিয় পেপসিন (Pepsin)

পেপসিন যদিও প্রোটিনের  বন্ধের মধ্যে আর্দ্রবিশ্লেষণ করে অর্থাৎ পেপটাইড বন্ধনীকে ভাঙ্গে, কিন্তু  গ্রুপটি যদি Phe, Trp, অথবা Tyr হয় তাহলে বন্ধনীটিকে সহজে চিনতে পারে এই পেপসিন উৎসেচকটি। প্রোটিনের ওপরে সক্রিয় পেপসিন নিম্নলিখিতভাবে কাজ করে—

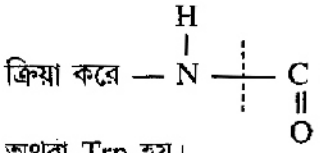


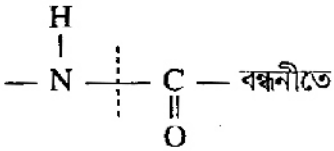
খাদ্যের প্রোটিন — পাকস্থলীর সক্রিয় প্রোটিন — পলিপেপটাইড — পেপসিন

ঐ পলিপেপটাইডগুলি ক্ষুদ্রান্ত্রে প্রবেশ করলে অগ্নাশয়ের রসে উপস্থিত প্রোটিন বিশ্লেষণকারী উৎসেচকগুলি ওদের ওপরে ক্রিয়া করে। অগ্নাশয়ের রসে (ক্ষারীয়) থাকে কাইমোট্রিপসিনোজেন (Chymotrypsinogen), ট্রিপসিনোজেন (Trypsinogen) প্রোকার্বক্সিপেপটিডেজ ইত্যাদি উৎসেচক নিষ্ক্রিয়রূপে। ওই নিষ্ক্রিয় উৎসেচকগুলি আবার প্রোটিন বিশ্লেষণকারী উৎসেচক দিয়েই সক্রিয় হয়। যেমন—

কাইমোট্রিপসিনোজেন $\xrightarrow[\text{ও}]{\text{সক্রিয়ট্রিপসিন}}$ সক্রিয় কাইমোট্রিপসিন + 2-ডাইপেপটাইড
(সক্রিয় কাইমোট্রিপসিন)

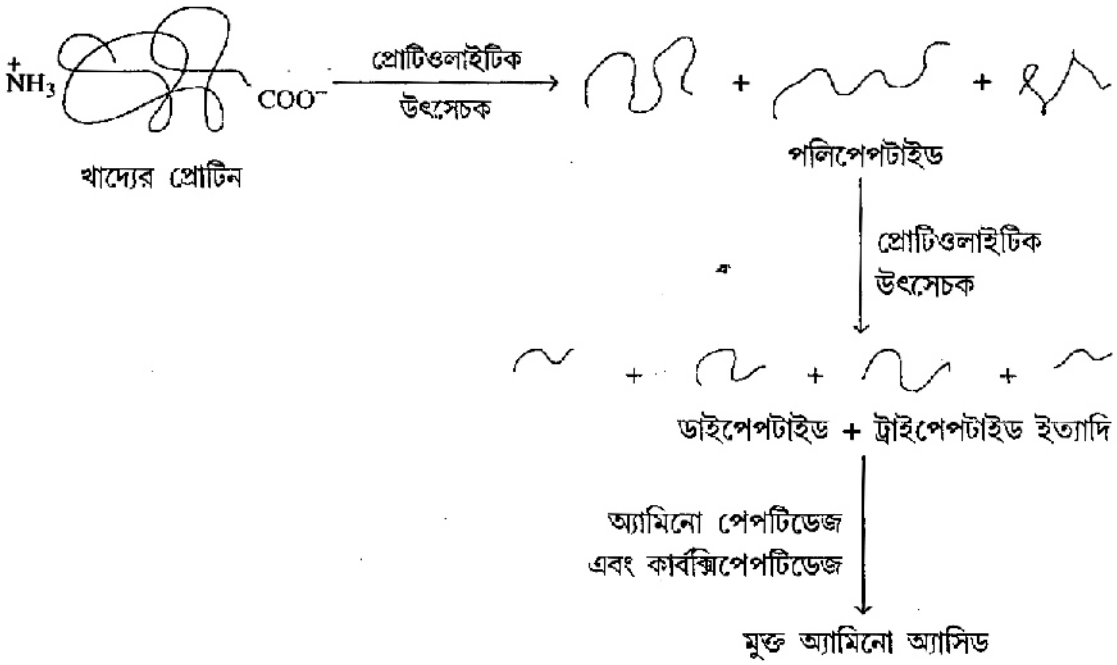
ট্রিপসিনোজেন $\xrightarrow{\text{এনটেরোকাইনেজ}}$ সক্রিয় কাইমোট্রিপসিন + N-প্রান্তীয় হেক্সাপেপটাইড

সক্রিয় কাইমোট্রিপসিন ছোট প্রোটিন বা পাকস্থলীতে উৎপন্ন পলিপেপটাইডের উপরে বিশ্লেষণকারী ক্রিয়া করে  বন্ধনীতে — C = O গ্রুপদানকারী অ্যামিনো অ্যাসিডটি যদি Phe, Tyr অথবা Trp হয়।

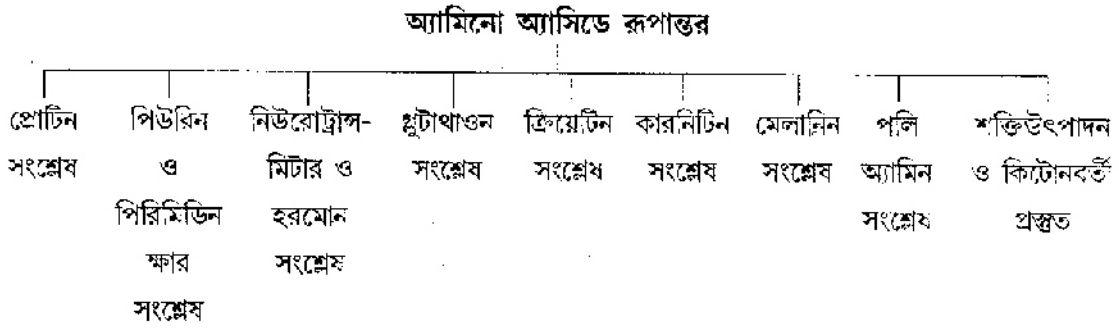
সক্রিয় ট্রিপসিন পাকস্থলীতে উৎপন্ন পলিপেপটাইডগুলির উপরে আর্দ্রবিশ্লেষণকারী ক্রিয়া দেখায় যদি  বন্ধনীতে গ্রুপদানকারী অ্যামিনো অ্যাসিডটি হয় Arg অথবা Lys.

এই তিনটি এন্ডোপেপটিডেজ কার্বক্সিপেপটিডেজ B কাজ করে C প্রান্তীয় অ্যামিনো অ্যাসিডটির উপরে অর্থাৎ এইটি এক্সোপেপটিডেজ। C-প্রান্তীয় অ্যামিনো অ্যাসিডটি যদি Arg অথবা Lys হয় তাহলে কার্বক্সিপেপটিডেজ থেকে আর্দ্রবিশ্লেষিত করতে পারে পলিপেপটাইড থেকে।

এইভাবে সমগ্র প্রোটিনটি (খাদ্য হিসাবে গৃহীত) অ্যামিনো অ্যাসিডে বিশ্লিষ্ট হলে ক্ষুদ্রান্ত্রের ভিলি (Villi) শোষণ করে ধমনীর সাহায্যে শরীরের বিভিন্ন কোষে পাঠিয়ে দেয়। কোষের ভিতরে অ্যামিনো অ্যাসিডের অপচিতি নানাভাবে হয়।



7.3 কোষে অ্যামিনো অ্যাসিডের অপচিতি



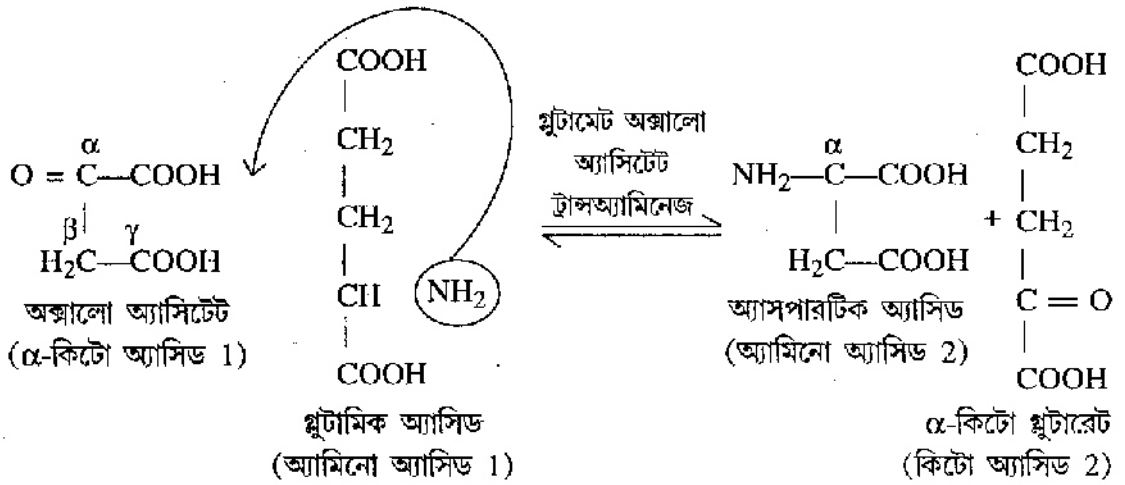
উপরিউক্ত ছকে এইটি পরিষ্কার যে অ্যামিনো অ্যাসিডের বেশির ভাগ কাজই সংশ্লেষমূলক (Synthetic) ; শরীরের যাবতীয় নাইট্রোজেন ঘটিত পদার্থগুলির সংশ্লেষ অ্যামিনো অ্যাসিড থেকেই হয়। অ্যামিনো অ্যাসিড যদি অপচিতিতে অংশ গ্রহণ করে তাহলে অ্যামিনো অ্যাসিডের $—NH_2—$ গ্রুপটি বেরিয়ে আসে—সেটি আসলে সাঙ্ঘাতিক ক্ষতি। নাইট্রোজেন নেই এমন প্রাণরাসায়নিক অণু অনেক আছে। যেমন—শর্করা, লিপিড ইত্যাদি। তারাই অপচিতিতে অংশগ্রহণ করে শক্তি সঞ্চয় করে ATP হিসাবে। যদি শরীরে ঐসব দ্রব্যাদির ঘাটতি হয় তবেই অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে শক্তি উৎপাদন শুরু হবে।

20টি অ্যামিনো অ্যাসিডের সকলেই শক্তি উৎপাদনে অংশগ্রহণ করতে পারে এবং করে সুনির্দিষ্ট পথে, নির্দিষ্ট উৎসেচক ও সহউৎসেচকের সাহায্য নিয়ে।

সবগুলির সম্পর্কে পৃথক পৃথক আলোচনায় না গিয়ে আমরা কতকগুলি বিক্রিয়ার শ্রেণীবিভাগ করে আলোচনা করব।

7.3.1 ট্রান্সঅ্যামিনেশন (অ্যামিনো গ্রুপ বদল) :

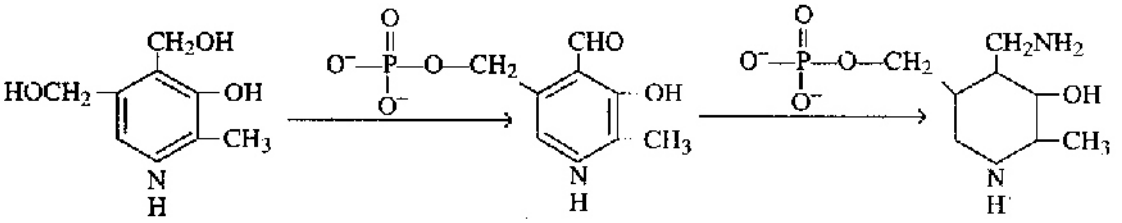
ট্রান্সঅ্যামিনেশন বিক্রিয়ায় $—NH_2$ গ্রুপটিকে একটি অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে সরিয়ে নেওয়া হয় একটি α-কিটো অ্যাসিডে। α-কিটো অ্যাসিডটি নতুন অ্যামিনো অ্যাসিডে পরিণত হয় ও পুরনো অ্যামিনো অ্যাসিডটি একটি নতুন α-কিটো অ্যাসিডে পরিণত হয়। এই ব্যাপারে উৎসেচকটি বিশেষভাবে একজোড়া অ্যামিনো অ্যাসিড ও α-কিটো অ্যাসিডকেই চিনতে পারে। উৎসেচকটিকে সাহায্য করে প্রস্থেটিক গ্রুপ পিরিডক্সাল ফসফেট (PALPO)—ভিটামিন B_6 এর সহউৎসেচক রূপ, যেটি পিরিডক্সামিনে পরিণত হয় (PAMPO)



বিক্রিয়াগুলি উভমুখী ও সাইটোপ্লাজম ও মাইটোকন্ড্রিয়া দুই জায়গাতেই হতে পারে।

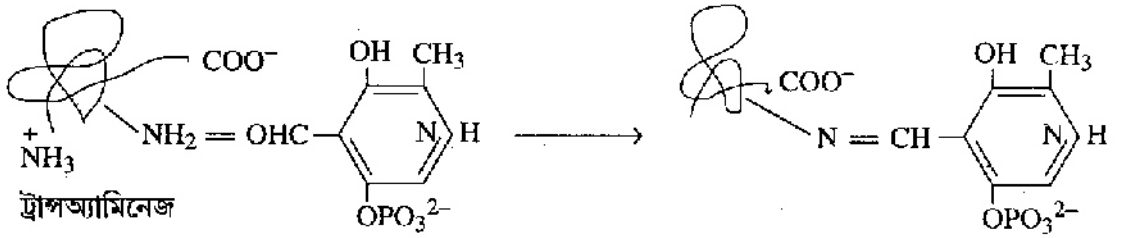
উৎসেচকটিকে অ্যামিনোট্রান্সফারেজও বলা চলে। বিক্রিয়াটি উভমুখী ও সাম্যাবস্থার ধ্রুবক 1.0 ; যদি বিক্রিয়াটিকে ধরা যায় বিভিন্ন অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে α-কিটো গ্লুটারেটে অ্যামিনো ট্রান্সফার করা হচ্ছে এবং সবক্ষেত্রেই গ্লুটামেট তৈরি হচ্ছে—বিক্রিয়াটিকে তাহলে অপচিতি পথক্রমের অভিসৃতি (Convergence of Catabolic in the ways) বলা যায়।

সহউৎসেচকটির বিভিন্ন গঠন সংকেত



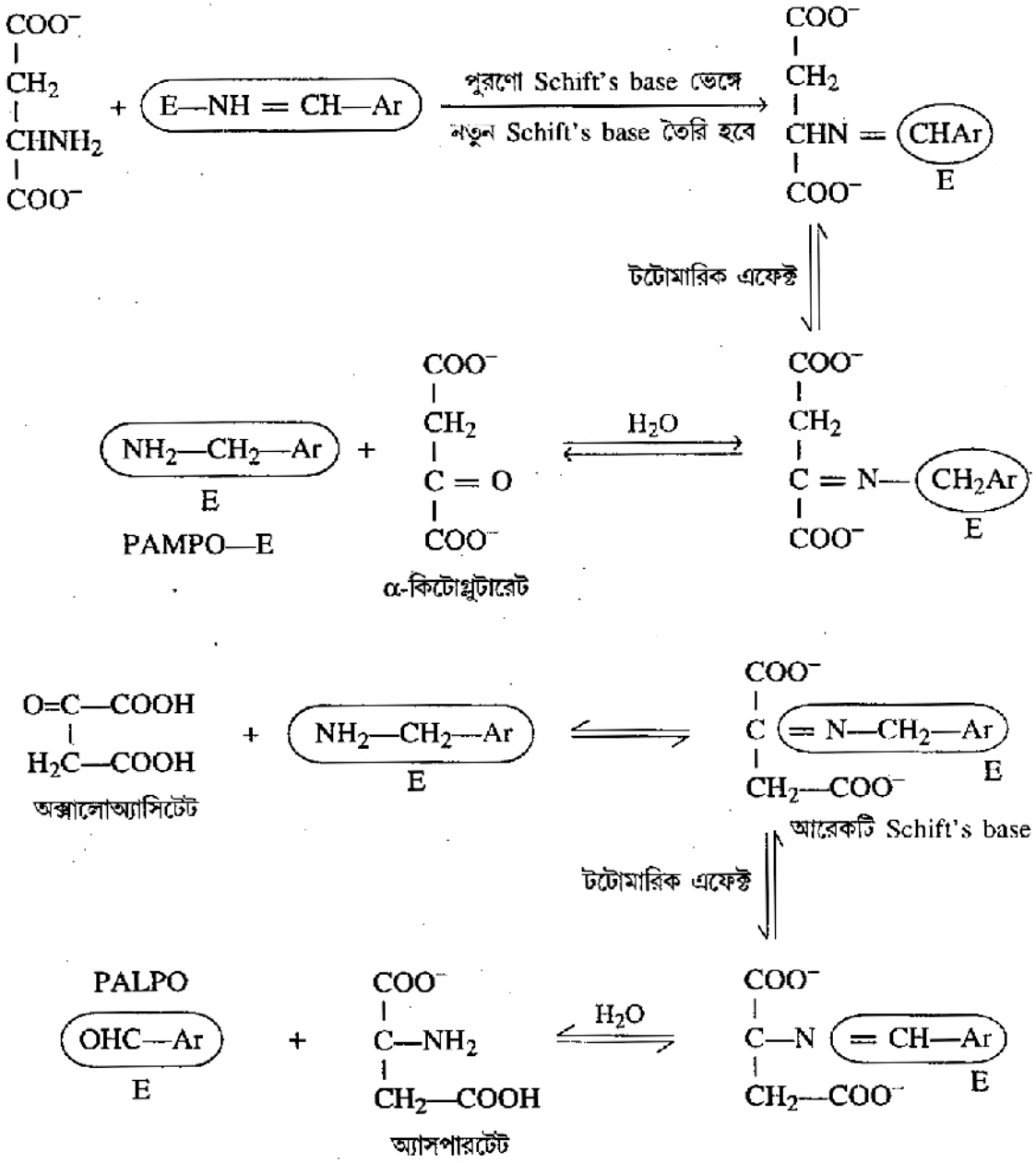
পিরিডক্সিন (Pyridoxine) (ভিটামিন B_6) | পিরিডক্সাল ফসফেট (PALPO) | পিরিডক্সামিন ফসফেট (PAMPO)

বিক্রিয়ার পূর্বে ট্রান্সঅ্যামিনেজ উৎসেচকের একটি hys এর ε—NH_2 গ্রুপের সঙ্গে PALPO Schiff's base গঠন করে থাকে।



অথবা, E—NH = CH—Ar.

পূর্ববর্তী উদাহরণটিকে কাজে লাগালে,



এইটিই সংক্ষেপে পিরিডক্সাল ফসফেট থেকে পিরিডক্সামিন ফসফেটে রূপান্তরিত হওয়া ও অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে কিটো অ্যাসিডে রূপান্তরিত হওয়ার কার্যপ্রণালী।

আরও একটি ট্রান্সঅ্যামিনোজ—পাইরুভেট গ্লুটামেট ট্রান্স অ্যামিনেজ খুবই সক্রিয় মানুষের শরীরে।

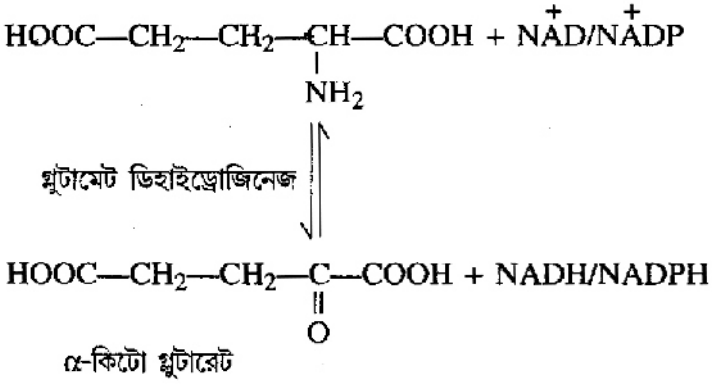
ট্রান্স অ্যামিনেজের সহায়তায় অ্যালানিস থেকে পাইরুভেট, অ্যাসপারটিক অ্যাসিড থেকে অক্সালোঅ্যাসিটেট, গ্লুটামিক অ্যাসিড থেকে α-কিটো গ্লুটারেট পাওয়া যেতে পারে অথবা উপরিউক্ত α-কিটো অ্যাসিডগুলি থেকে উপরিউক্ত অ্যামিনো অ্যাসিড পাওয়া যেতে পারে, যেহেতু বিক্রিয়াটি উভমুখী।

শরীরে শক্তির উৎস কার্বহাইড্রেট কম থাকলে ট্রান্সঅ্যামিনেজের সহায়তায় ঐসব α-কিটো অ্যাসিডগুলি তৈরী করে তা থেকে শক্তি পাওয়া সম্ভব। যদি অ্যামিনো অ্যাসিড কম থাকে তাহলে ঐ α-কিটো অ্যাসিডগুলি থেকে ঐসব অ্যামিনো অ্যাসিড পাওয়া সম্ভব। তাই ঐ অ্যামিনো অ্যাসিডগুলি ননএসেনশিয়াল অ্যামিনো অ্যাসিড।

7.3.2 অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশন (Oxidative deamination) [জারণের মাধ্যমে অ্যামিনো গ্রুপ দূরীকরণ] :

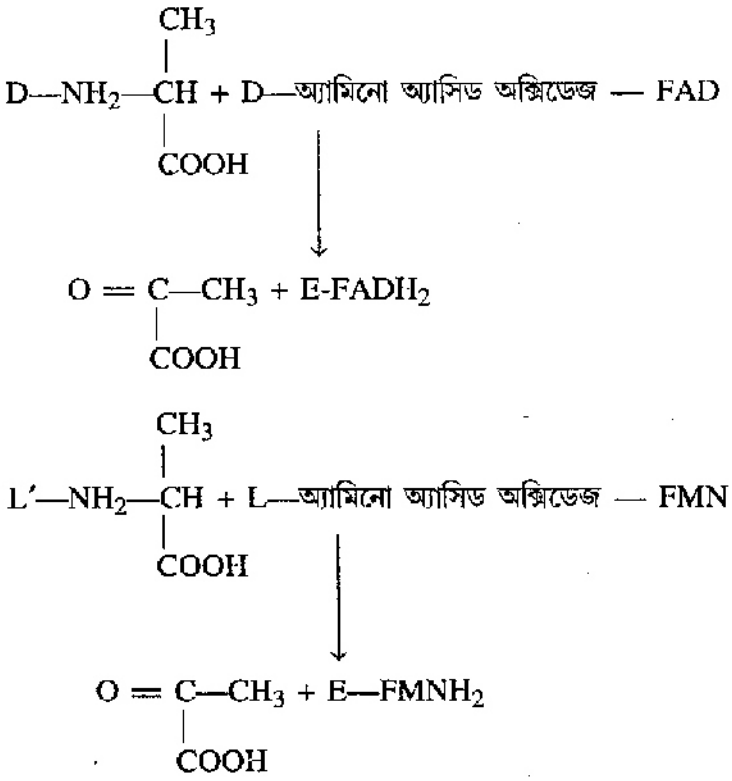
1. ট্রান্সঅ্যামিনেশনের অভিসৃত অপচিতিতে সব অ্যামিনো অ্যাসিড α-কিটো গ্লুটারেটে পরিবর্তিত না হলে α-কিটো গ্লুটারেটের পরিমাণ কমে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকবে।

অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশনে গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের সাহায্যে গ্লুটামেট থেকে α-কিটো গ্লুটারেট পাওয়া যায়।



এই উৎসেচকটি অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক; ATP, GTP ও NADH দ্বারা ক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায় এবং ADP ও GDP ক্রিয়া বৃদ্ধি করায়।

2. কোন কোন ক্ষেত্রে অ্যামিনো অ্যাসিড অক্সিডেজ-এর সাহায্যে জারণকালে অ্যামিনো গ্রুপ দূরীকরণ ঘটে। অ্যামিনো অ্যাসিড অক্সিডেজ FAD, অথবা FMN-কে প্রসথেটিক গ্রুপ সহউৎসেচক হিসাবে ব্যবহার করতে পারে। D-অ্যামিনো অ্যাসিডের জন্যে ও L-অ্যামিনো অ্যাসিডের জন্য পৃথক পৃথক অ্যামিনো অ্যাসিড অক্সিডেজ ব্যবহৃত হয়।



$$E—FADH_2/EFMNH_2 + O_2 \text{ (সরাসরি)} \longrightarrow E—FMN/E—FAD + H_2O_2$$

$$H_2O_2 \xrightarrow{\text{Catabase}} H_2O + O_2$$

এই বিক্রিয়াগুলি ঘটে পারক্সিজোমে।

7.3.3 ডিকার্বক্সিলেশন (Decarboxylation) [কার্বক্সিলিক গ্রুপ দূরীকরণ] :

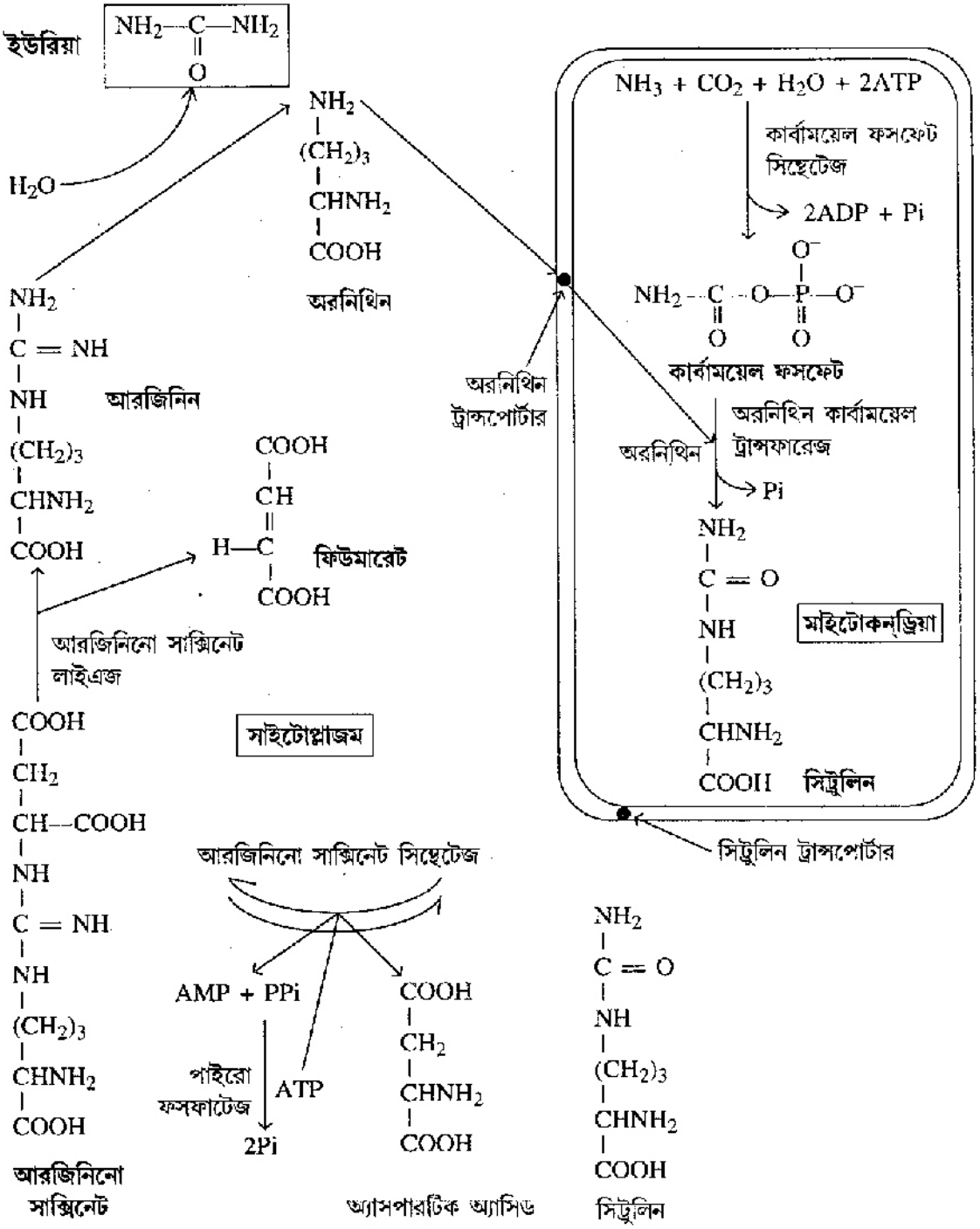
কিছু কিছু অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে HOOC—গ্রুপটিকে উৎসেচকের সাহায্যে সরিয়ে জৈব অ্যামিন প্রস্তুত করা হয় জীবন্ত কোষে। ঐ অ্যামিনগুলির বিশেষ বিশেষ কাজ আছে মানুষের শরীরে। কেউ কেউ নিউরোট্রান্সমিটার-এর (স্নায়ুতন্ত্রের বার্তাবাহক) কাজ করে।

$$\text{হিস্টিডিন (His)} \xrightarrow[\text{PALPO}]{\text{ডিকার্বক্সিলেশন}} \text{হিস্টামিন} + CO_2$$

7.4 ইউরিয়া সাইকেল (Urea Cycle)

অক্সিডেটিভ ডিঅ্যামিনেশনে অতিরিক্ত NH_3 প্রস্তুত হলে যেহেতু অ্যামোনিয়া শরীরের পক্ষে

ক্ষতিকারক তাই ইউরিয়া তৈরি করে অ্যামোনিয়াকে শরীর থেকে নির্গত করা হয়। ইউরিয়া সাইকেলটির কিছু অংশ মাইটোকনড্রিয়ায় হয়—কিছু হয় সাইটোপ্লাজমে। সাইকেলের বিক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ—



7.5 সারাংশ

- অ্যামিনো অ্যাসিড শরীরে পাওয়া যায় প্রোটিনের বিশ্লেষণ থেকে।
- অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে নতুন প্রোটিন, অ্যামিন, হরমোন, পিউরিন ও পিরিডিন ক্ষার, পলিঅ্যামিন ও আরও সব নাইট্রোজেন ঘটিত জৈব অণু প্রস্তুত হয়।
- অ্যামিনো অ্যাসিড শক্তির উৎস হিসাবেও ব্যবহার করা যেতে পারে।
- অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে উদ্ভূত NH_3-কে ইউরিয়া সাইকেলের সাহায্যে ইউরিয়ায় পরিণত করা হয়।

7.6 প্রশ্নাবলি

বস্তুমুখী প্রশ্ন (Objective type question) :

১। অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে কি কি প্রস্তুত হয়?

২। অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে কিটো অ্যাসিড করতে কি সহউৎসেচক লাগে?

৩। অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে কিটো অ্যাসিড কোষের কোথায় হয়?

৪। ইউরিয়া সাইকেল কোষের কোথায় হয়?

৫। ইউরিয়া সাইকেল কেন হয়?

বিষয়মুখী প্রশ্ন (Subjective type question) :

১। গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজিনেজ ও অ্যামিনো অ্যাসিড অক্সিডেজের মধ্যে পার্থক্য কি কি?

২। ইউরিয়া সাইকেলের সদস্যরা সবাই কি অ্যামিনো অ্যাসিড—আলোচনা করুন।

৩। গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজিনেজের নিয়ন্ত্রক কারা?

৪। অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে গ্লাইকোলিসিসের শেষ যৌগটি প্রস্তুত করুন

৫। প্রোটিন থেকে অ্যামিনো অ্যাসিডের পরিপাকটি বিবৃত করুন।

[সংশ্লিষ্ট একক ও একাংশ থেকে সহজেই উত্তরগুলি খুঁজে নিতে পারবেন]

একক 8 ❑ লিপিডের অপচিতি (Catabolism of lipids)

গঠন

8.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

8.2 ফসফোলিপিড ও ট্রাইগ্লিসারাইড থেকে আর্দ্রবিশ্লেষিত পদার্থ

8.3 কোষ মধ্যে লিপিড বা ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি

8.3.1 ফ্যাটি অ্যাসিডের সক্রিয়করণ

8.3.2 কারনিটিনের সঙ্গে বিক্রিয়া

8.3.3 সাইটোপ্লাজমের ফ্যাটি অ্যাসিডের মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রবেশ

8.3.4 মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরে ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি

8.3.5 অযুগ্ম সংখ্যার কার্বনযুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি

8.3.6 অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি

8.4 সারাংশ

8.5 প্রশ্নাবলি

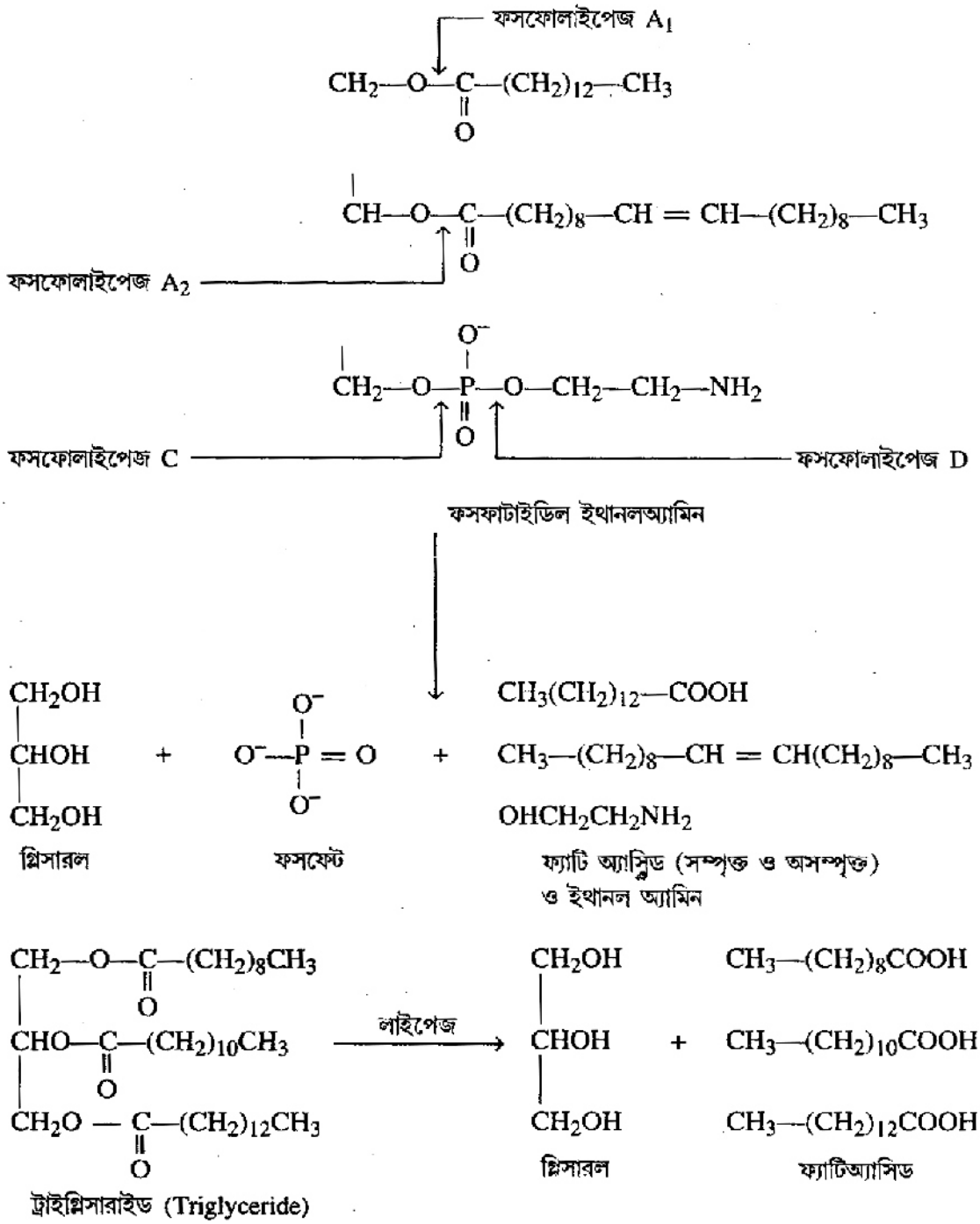
8.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা : এই এককে লিপিড কিভাবে অপচিত হয় তা দেখানো হবে। লিপিড কার্বোহাইড্রেট ও প্রোটিনের তুলনায় বেশি শক্তির যোগান দেয়। কার্বোহাইড্রেট ও প্রোটিনের থেকে উৎপাদিত শক্তি গড়ে 4 Kcal/gm লিপিড থেকে উৎপাদিত শক্তি গড়ে 9 Kcal/gm. লিপিড-এর অপচিতিতে একটি সমস্যার কথা মনে রাখতে হবে লিপিড জলে অদ্রাব্য আর অপচিতি হবে উৎসেচকের সাহায্যে—উৎসেচকগুলি সব গ্লোবিউলার প্রোটিন অর্থাৎ জলে দ্রাব্য। তাহলে একটি বিশেষ ব্যবস্থার প্রয়োজন দুই দলকে এক জায়গায় আনবার জন্য।

পরিযায়ী পাখীর দিনের পর দিন উড়ে চলার শক্তি, শীতঘুমে যাওয়া প্রাণীর জীবকোষগুলিকে জীবিত রাখা ও হৃৎপিণ্ডকে সচল রাখার শক্তি আসে লিপিডের অপচিতির ফলে। উটের কুঁজ থেকে কেন অত জলের সরবরাহ তাও জানা যাবে।

উদ্দেশ্য : এই এককটি পড়বার পরে লিপিডের শক্তি সরবরাহ করবার কার্যপ্রণালীটি জানা যাবে। সেই সঙ্গে জানা যাবে যুগ্মসংখ্যা ও অযুগ্মসংখ্যার ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতির পার্থক্যও।

8.2 ফসফোলিপিড ও ট্রাইগ্লিসারাইড থেকে আর্দ্রবিশ্লেষিত পদার্থ



খাদ্য হিসাবে লিপিড বা ফ্যাট গ্রহণ করলে ক্ষুদ্রান্ত্রে এই পরিপাকটি হবে। ছোট ছোট অণুগুলি শোষিত হয়ে বিভিন্ন কোষে যাবে। সঞ্চিত ফ্যাটও এইভাবে বিশ্লেষিত হতে পারে কোষের মধ্যে বিপাকের পূর্বে।

8.3 কোষ মধ্যে লিপিড বা ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি

8.3.1 ফ্যাটি অ্যাসিডের সক্রিয়করণ (activation) :

তিন প্রকার সিন্থেটেজ বিভিন্ন রকমের ফ্যাটি অ্যাসিডের সক্রিয়করণ করে দেয়। যেমন—

(1) **অ্যাসাইল CoA সিন্থেটেজ :**

অ্যাসিটিক অ্যাসিড, প্রপিয়নিক অ্যাসিড ও অ্যাক্রাইলিক অ্যাসিডের সক্রিয়করণ করতে পারে।

(2) **মিডিয়াম চেইন অ্যাসাইল CoA সিন্থেটেজ :**

4-12 কার্বনযুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডকে সক্রিয়করণ করতে পারে।

(3) **লং চেইন অ্যাসাইল CoA সিন্থেটেজ :**

12-22 অথবা আরও দীর্ঘ সংখ্যক কার্বনযুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডকে সক্রিয়করণ করতে পারে।

এই উৎসেচকগুলির সবকটিকেই মাইটোকনড্রিয়ার মেমব্রেনে এবং এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকুলামের মেমব্রেনে পাওয়া যায়।

বিক্রিয়াটি হবে।

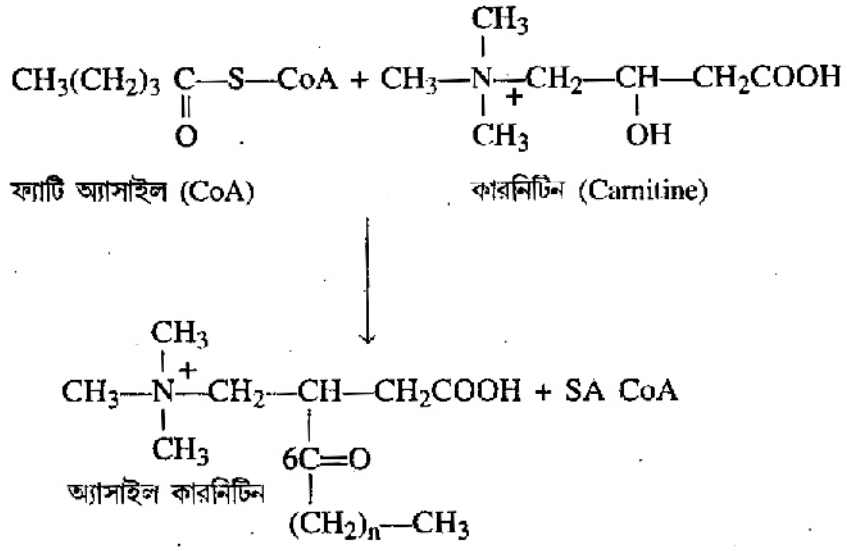
$$CH_3(CH_2)_n\text{—}COOH + SHCoA + ATP \xrightleftharpoons[\text{সিন্থেটেজ}]{\text{ফ্যাটিঅ্যাসাইল CoA}} CH_3(CH_2)_n\text{—}CO\text{—}SCoA + AMP + PPi$$

ফ্যাটিঅ্যাসাইল CoA

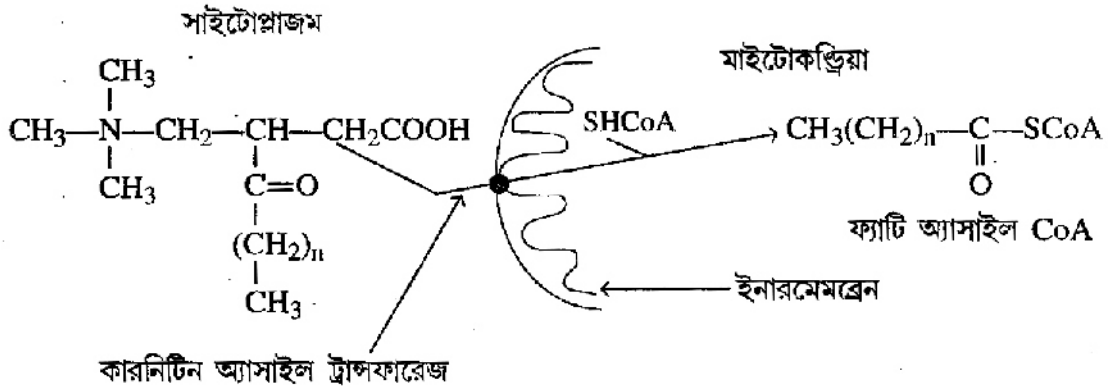
$$PPi \xrightarrow{\text{পাইরোফসফাটেজ}} 2Pi$$

$$AMP + ATP \rightarrow 2ADP$$

8.3.2 কারনিটিনের সঙ্গে বিক্রিয়া :



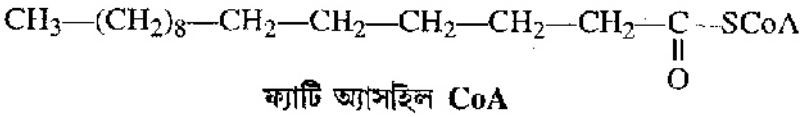
8.3.3 সাইটোপ্লাজমের ফ্যাটি অ্যাসিডের মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রবেশ :



অ্যাসাইল কারনিটিন ট্রান্সফারেজ উৎসেচকটি মাইটোকন্ড্রিয়ায় যেখানে অডিটার ও ইনার মেমব্রেন মিশে থাকে সেখানে থাকে। SACoA-র সাহায্যে উৎসেচকটি ফ্যাটি অ্যাসিডটিকে কারনিটিন থেকে মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরে অবস্থিত SACoA-তে প্রত্যার্পণ করে।

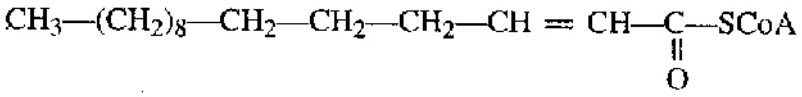
এতে (8.3.2 ও 8.3.3) সাইটোপ্লাজম ও মাইটোকনড্রিয়ার নিজস্ব SHCoA-র পরিমাণ ঠিকমত থাকে। কারনিটিন ফ্যাটি অ্যাসিড থেকে মুক্ত হয়ে পরবর্তী ফ্যাটি অ্যাসিডটিকে বহন করে নিয়ে আসে মাইটোকনড্রিয়ার কাছে। কারণ, ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি ঘটবে মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরে।

8.3.4 মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরে ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি :



ফ্যাটি অ্যাসাইল CoA

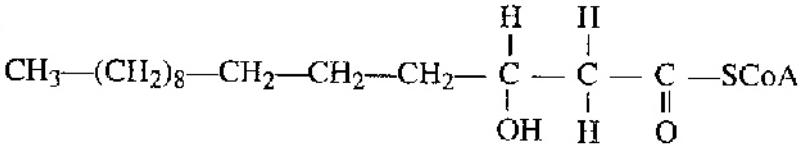
(পামিটইল CoA) — অ্যাসাইল CoA ডিইড্রোজিনেজ, FAD → $FADH_2$ (1)



Δ^2-ট্রান্স ইনইল CoA (= এর দুপাশের H-ট্রান্স পজিশন)

এই উৎসেচকটি Cis-আইসোমার হলেও বিক্রিয়া করত। কিন্তু পরবর্তী উৎসেচকটি L-আইসোমার না হলে কাজ করবে না।

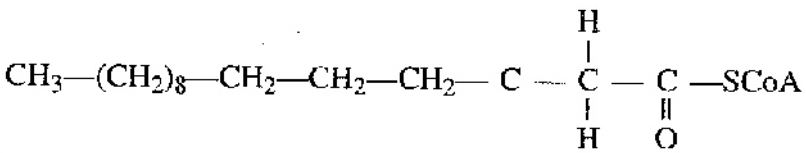
ইনইল CoA হাইড্রাটেজ, H_2O (2)



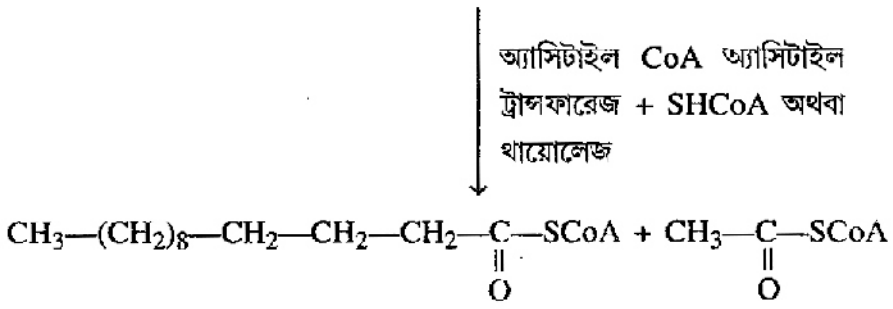
L-3-OH অ্যাসাইল CoA

পূর্ববর্তী বিক্রিয়ায় উৎপন্ন দ্রব্য ট্রান্স হলেই L-3-OH অ্যাসাইল CoA হবে—না হলে D-3OH অ্যাসাইল হবে।

3-OH অ্যাসাইল CoA ডিইড্রোজিনেজ, NAD^+ → $NADH + H^+$ (3)



3-কিটো অ্যাসাইল CoA



নতুন ফ্যাটি অ্যাসিটাইল CoA + অ্যাসিটাইল CoA

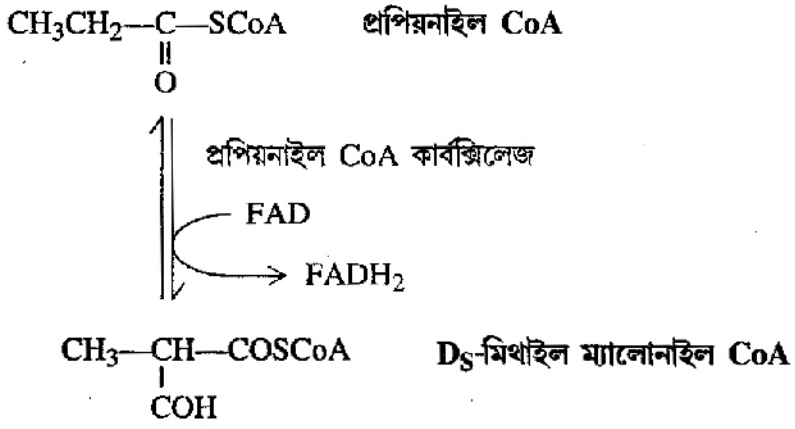
নতুন ফ্যাটি অ্যাসাইল CoA-তে দুটি C কার্বন কম থাকবে পুরনোটির তুলনায়, কারণ একটি অ্যাসিটাইল CoA তৈরি হয়েছে। এই ফ্যাটি অ্যাসিডটি আবার (1), (2), (3) ও (4) নম্বর উৎসেচক দ্বারা আক্রান্ত হবে ও একটি অ্যাসিটাইল CoA তৈরি করবে।

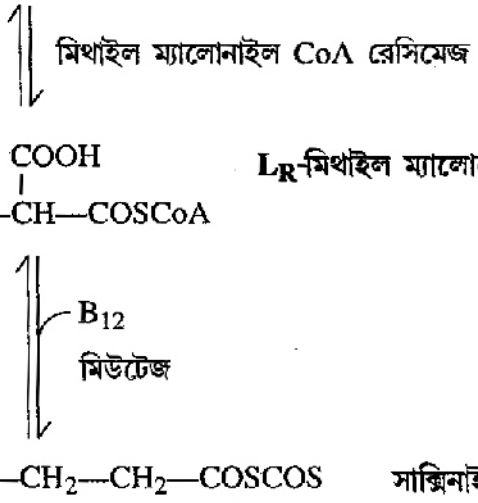
এইভাবে সমগ্র অণুটি থেকে মোট 8টি অ্যাসিটাইল CoA ($CH_3COSCoA$) পাওয়া যাবে। 7টি $FADH_2$ ও 7টি NADH $37H^+$ তৈরী হবে।

8.3.5 অযুগ্ম সংখ্যার কার্বনযুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি :

ধরা যাক্, আমাদের কাছে একটি ফ্যাটি অ্যাসিড আছে যাতে 17টি কার্বন আছে। অর্থাৎ ফ্যাটি অ্যাসাইল CoAটি হবে $CH_3—(CH_2)_8—CH_2—CH_2\ CH_2\ CH_2\ CH_2\ CH_2\ CH_2\ CO\ SCoA$.

তাহলে পূববর্তী প্রক্রিয়ায় (1), (2), (3) ও (4) উৎসেচকের বিক্রিয়া 7 বার হওয়ার পরে 7টি $CH_3COSCoA$ হবে ও একটি প্রপিয়নাইল CoA ($CH_3CH_2COSCoA$) হবে। প্রপিয়নাইল CoA-র অপচিতি হবে নিম্নরূপ—

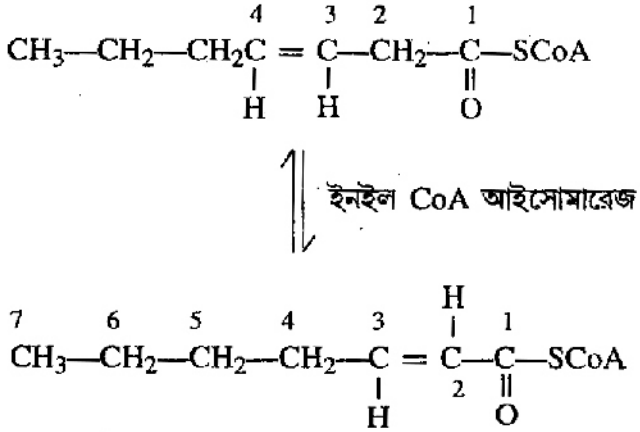




ভিটামিন B_{12}-এর অভাব থাকলে রুগীর মূত্রে অনেক পরিমাণে মিথাইল ম্যালোনিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। সাক্সিনাইল CoA-এর অভাবে হিম (Hemc) প্রস্তুত না হতে পারার জন্য রোগীর পার্নিসাশ অ্যানিমিয়া নামক রক্তাল্পতা রোগ হয়।

8.3.6 অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি :

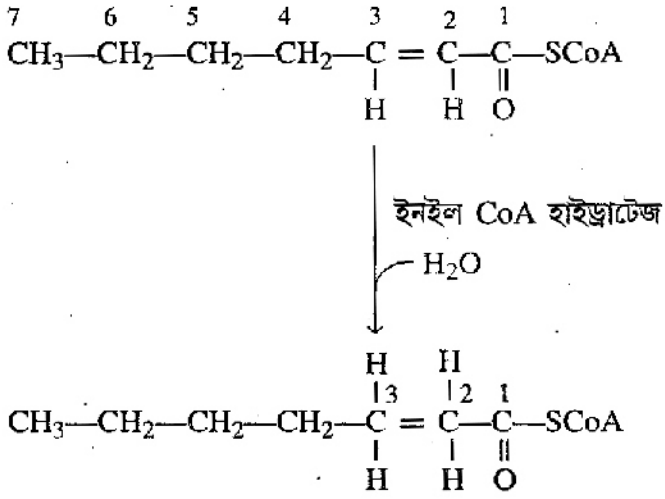
(ক) যদি অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অসংপৃক্ত বন্ধনী (বন্ড) 3নং ও 4নং কার্বনের মধ্যে থাকে ও সিজ (Cis) গঠনে থাকে তাহলে ইনইল CoA আইসোমারেজ উৎসেচকটি ক্রিয়া করে—



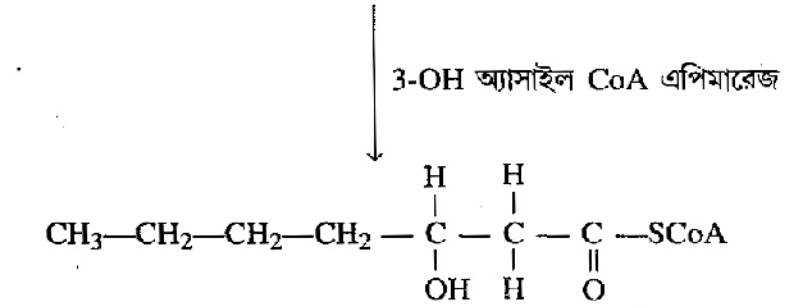
Δ^2-ট্রান্স ইনইল CoA

এরপরে (2), (3) ও (4) নম্বর উৎসেচক যথারীতি কাজ করে।

(খ) যদি অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অসংপৃক্ত বন্ধনী (বন্ড) 2নং কার্বনে থাকে ও 2 ও 3-এর মধ্যে সিজ গঠনে থাকে তাহলে নিম্নরূপ বিক্রিয়াটি হওয়া দরকার—



D-3-OH-অ্যাসাইল CoA



L-3-OH-অ্যাসাইল CoA

এর পরের বিক্রিয়া যথারীতি।

8.4 সারাংশ

- খাদ্য হিসাবে গৃহীত লিপিড ক্ষুদ্রান্ত্রে পাচিত হবে। পাচনের ফলে গ্লিসারল ও ফ্যাটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয়ে বিভিন্ন কোষে যাবে।
- তিন প্রকার সিন্থেটেজ (উৎসেচক) দিয়ে ফ্যাটি অ্যাসিডের সক্রিয়করণ ঘটে।
- ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতি ঘটে মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরে।

- ভিটামিন B_{12}-এর অভাব থাকলে রোগীর মূত্রে বেশি পরিমাণে মিথাইল ম্যালনিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

8.5 প্রশ্নাবলি

বস্তুমুখী প্রশ্ন (Objective type question) :

১। ফসফোলিপিড ও ট্রাইগ্লিসারাইডের আর্দ্রবিশ্লেষণে উৎপন্ন দ্রব্য কি কি?

২। অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিডের অপচিতিতে অতিরিক্ত কি কি উৎসেচক প্রয়োজন?

৩। SH-এর কি কাজ ফ্যাটি অ্যাসিড অপচিতিতে।

৪। FAD ও NAD কোন্ কোন্ ধাপে লাগে।

৫। লাইপেজ কি?

বিষয়মুখী প্রশ্ন (Subjective type question) :

১। একটি C_{18} ফ্যাটি অ্যাসিড (সম্পৃক্ত)-এর অপচিতির ধাপগুলি প্রদর্শন করুন।

২। D 3-OH ও L-3OH ফ্যাটি অ্যাসিডের সুবিধা ও অসুবিধাগুলি আলোচনা করুন।

৩। জল কোন ধাপে যুক্ত হয়?

৪। ফ্যাটি অ্যাসিড অ্যাক্টিভেশন বলতে কি বুঝায়?

৫। অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড-এর শেষ উৎপন্ন পদার্থটি কি কাজে লাগে?

[সংশ্লিষ্ট একক ও তার অংশ থেকে উত্তরগুলি সহজেই খুঁজে পাবেন]

একক 9 ❑ সাইট্রিক অ্যাসিড সাইক্‌ল্‌ বা সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র

গঠন

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

9.2 কার্বোহাইড্রেট থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে

9.3 অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে

9.4 ফ্যাটি অ্যাসিড থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে

9.5 সাধারণ আলোচনা

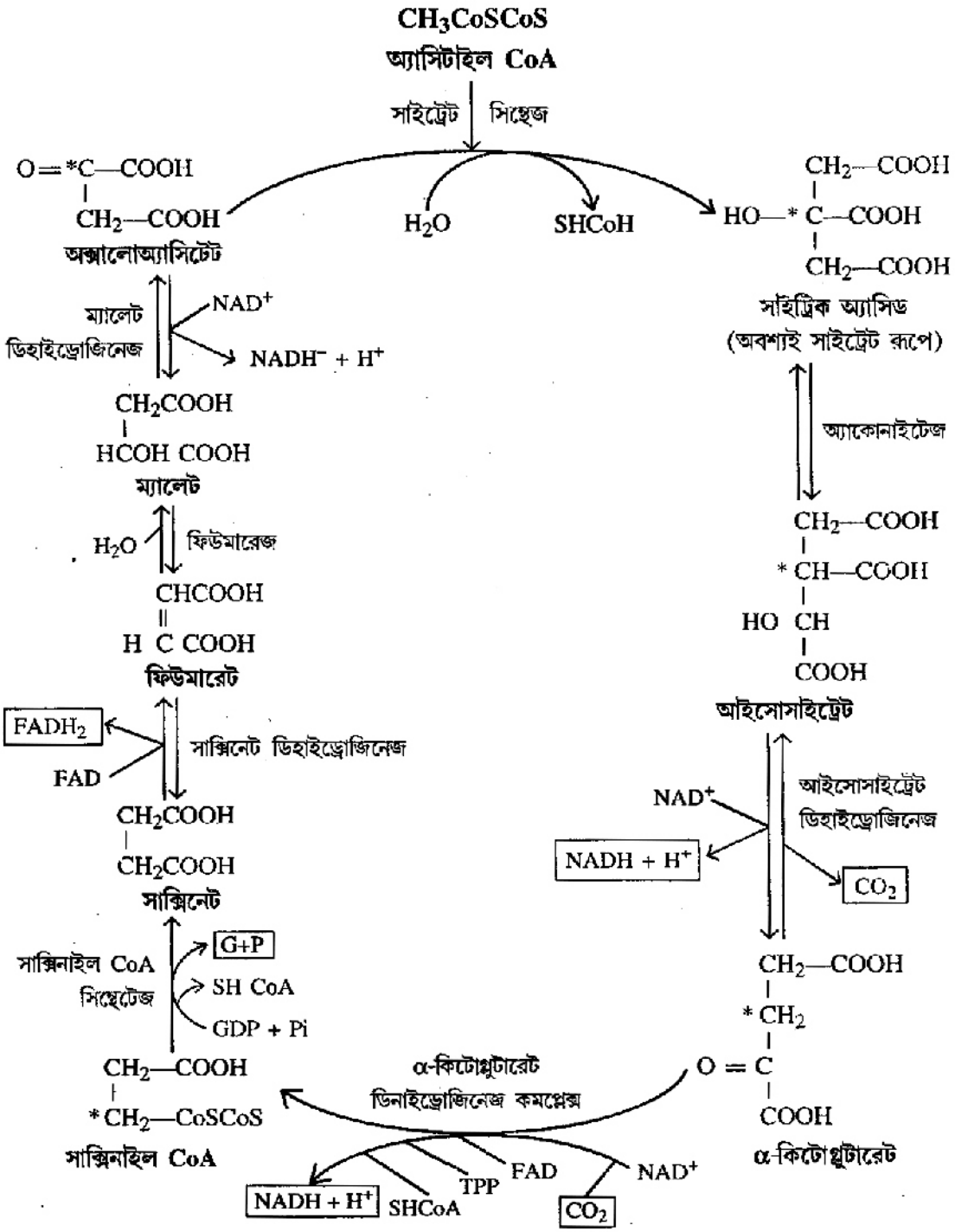
9.6 সারাংশ

9.7 প্রশ্নাবলি

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা : সব প্রাণরসায়ন অণু যারা শক্তি যোগায় তারা সকলেই শেষ পর্যন্ত একটি চক্রাকার বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে। চক্রাকার বিক্রিয়ায় প্রথম উৎপন্ন দ্রব্যটির মান অনুসারে এই চক্রের নাম সাইট্রিক অ্যাসিড সাইক্‌ল্‌ বা সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র। এই চক্রেই কার্বন ঘটিত অণু জারিত হয়ে CO_2 তৈরী করে।

উদ্দেশ্য : কী কী বিকারক ও বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করলে চক্রটি সম্পূর্ণ হয় ও সব শক্তি-সংগ্রহকারী অণু কি করে এই চক্রটিতে অংশ নেয় ও CO_2 কীভাবে তৈরি হয়, তা বোঝা এই এককের উদ্দেশ্য।



ট্রাইকার্বোক্সিলিক অ্যাসিড সাইক্‌ল্ (TCA)/সাইট্রিক অ্যাসিড সাইক্‌ল্
অথবা ক্রেবের চক্র (Kreb's Cycle)

9.2 কার্বোহাইড্রেট থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে

গ্লাইকোলিসিসে প্রস্তুত পাইরুভেট মাইটোকন্ড্রিয়ায় অ্যাসিটাইল CoA প্রস্তুত হয়। ঐ অ্যাসিটাইল CoA সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে কীভাবে অংশগ্রহণ করে তা দেখান হল—

$CH_3—C(=O)—COO^-$

পাইরুভেট

↓ পাইরুভেট ডিহাইড্রোজিনেজ কমপ্লেক্স [এইটি তিনটি উৎসেচক ও পাঁচটি সহউৎসেচক নিয়ে তৈরি— পাইরুভেট ডিহাইড্রোজিনেজ ডাইহাইড্রোলাইপোইল ট্রান্স অ্যাসিটাইলেজ ও ডাইহাইড্রোলাইপোইল ডিহাইড্রোজিনেজ এবং TPP, লাইপোয়িক অ্যাসিড, SHCoA, FAD ও NAD]

(→ $NADH + H^+$, → CO_2)

$CH_3CoSCoA$

অ্যাসিটাইল CoA

↓

সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র (পরবর্তী পৃষ্ঠায় দেখান হল)

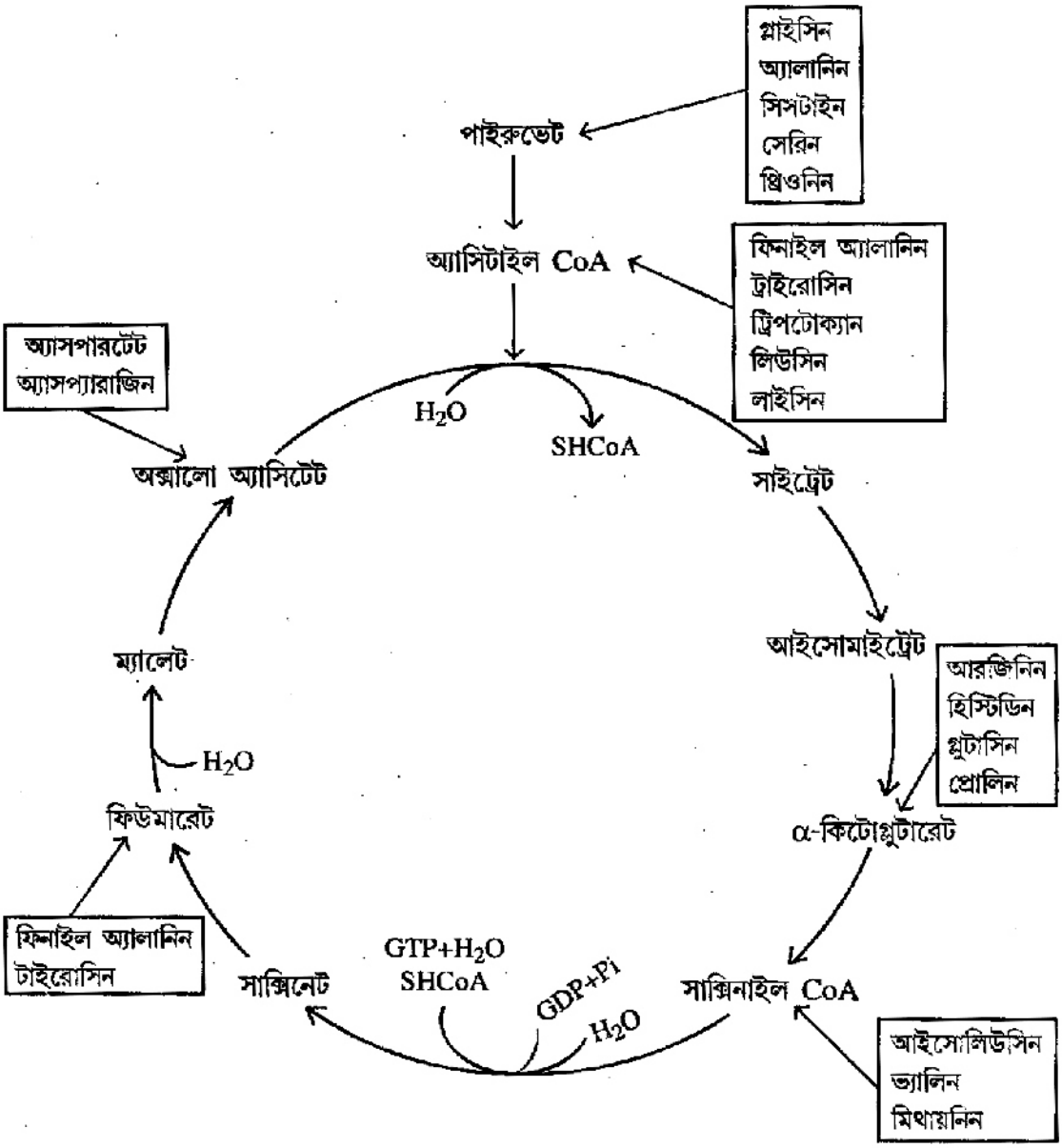
আপনারা ছোটবেলায় পড়েছিলেন গ্লুকোজ-এর 6টি কার্বন থেকে 6টি CO_2 অণু তৈরি হয়। একক 6-তে আমরা কোন CO_2-এর সৃষ্টি দেখিনি। শুধু জানি 2 অণু পাইরুভেট তৈরি হয়েছে। যদি পাইরুভেট সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশ করে তাহলে দেখতে পাচ্ছি তিনটি বিভিন্ন স্তরে তিনটি CO_2 তৈরি হয়েছে 1 অণু পাইরুভেট থেকে। তাহলে 2 অণু থেকে হবে 6টি CO_2। তাহলে 6টি CO_2 তৈরী হল। গ্লুকোজকে CO_2-এ পরিণত করতে জারণ ক্রিয়া করতে হবে। এ পর্যন্ত যে সকল ক্রিয়া হয়ে অনেক স্তরে জারণ হয়েছে NAD ও FAD এবং ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের সাহায্যে। কোথাও O_2 লাগেনি। অথচ আমরা বেঁচে থাকি O_2 নিয়ে। তাহলে O_2 কোথায় লাগে?

পাইরুভেট থেকে অক্সালোঅ্যাসিটেট পর্যন্ত পৌঁছতে চারটি স্তরে NAOH তৈরি হয়েছে জারণ ক্রিয়ায় ও একটি ক্ষেত্রে $FADH_2$ তৈরী হয়েছে। এরা সহউৎসেচক এবং ভিটামিন থেকে তৈরি হয়েছে। এরা যদি বিজারিত হয়ে অর্থাৎ NAD → NADH ও FAD → $FADH_2$ হয়ে থেকে যায় তাহলে প্রতিনিয়ত যে গ্লুকোজ অণুর জারণ হচ্ছে তাও প্রয়োজনীয় NAD ও FAD-র সরবরাহ করে ওঠা যাবে না। তাই NADH ও $FADH_2$ আবার জারিত হবে—জারিত হবে O_2 দিয়ে এবং NAD ও FAD রূপটি ফিরে পাওয়া যাবে।

তার জন্য আলোচনা পরবর্তী এককে হবে।

9.3 অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে

20টি অ্যামিনো অ্যাসিড কুড়িটি বিভিন্ন পদ্ধতিতে অপচিতির মাধ্যমে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশ করে। তার শেষতম উৎপন্ন পদার্থটি চক্রে প্রবেশ করবে। তা দেখানো হল—



এই চক্রটিকে ট্রাইকার্বক্সিলিক অ্যাসিড চক্রও বলা হয়। এইটি ক্রেবের চক্র নামেও পরিচিত (Kreb's Cycle)।

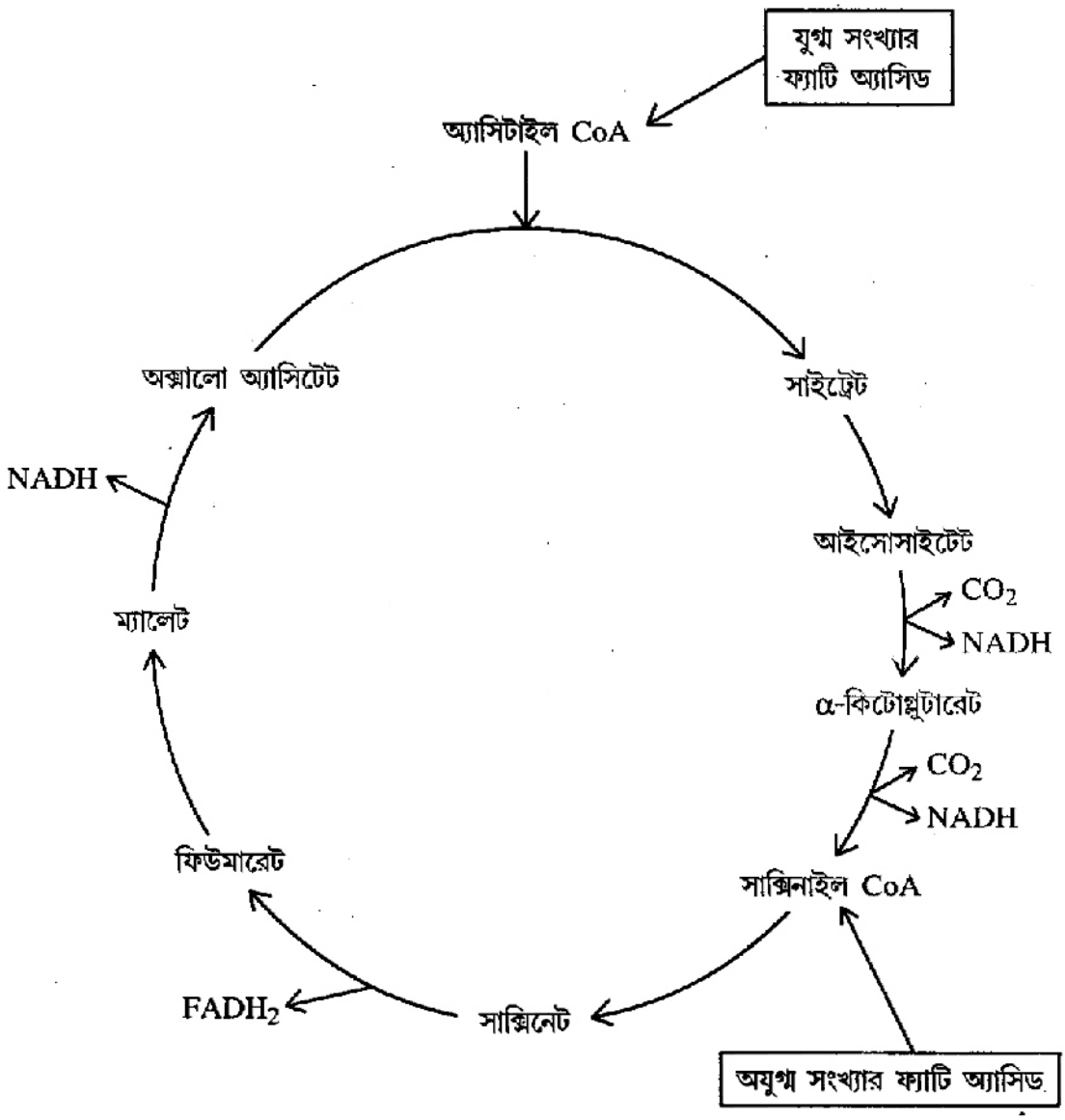
9.4 লিপিডের ফ্যাটি অ্যাসিড থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে

ফ্যাটি অ্যাসিড থেকে শেষ উৎপন্ন দ্রব্য হতে পারে—

(১) অ্যাসিটাইল CoA (যুগ্মসংখ্যা হলে)

(২) সাক্সিনাইল CoA (অযুগ্মসংখ্যা হলে)

তাহলে,



9.5 সাধারণ আলোচনা

এইসব পদার্থ সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশ করলে এক অণু যে কোন সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রের সদস্য তিনটি NADH ও একটি $FADH_2$ তৈরি করবে।

পাইরুভেট থেকে অ্যাসিটাইল CoA হওয়ার সময় আবার 1 অণু NADH তৈরি হবে।

মনে রাখতে হবে, এখনও O_2 দিয়ে জারণ ক্রিয়া হয়নি এবং NAD ও FAD বিজারিত অবস্থায় আছে, অর্থাৎ NADH ও $FADH_2$ হয়ে আছে।

9.6 সারাংশ

- প্রাণরসায়ন অনুযায়ী শক্তির সরবরাহ ঘটে একাধিক চক্রাকার বিক্রিয়ায়।
- সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে কার্বনঘটিত অণু জারিত হয়ে CO_2 তৈরি হয়।
- কার্বোহাইড্রেট থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে বিভিন্ন স্তরে CO_2 উৎপন্ন হয়।
- অ্যামিনো অ্যাসিড থেকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশ করে। চক্র-বিক্রিয়াকে ক্রেবের চক্র বলে।
- ফ্যাটি অ্যাসিড থেকেও চক্র-বিক্রিয়ায় সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশ ঘটে।

9.7 প্রশ্নাবলি

বস্তুমুখী প্রশ্ন (Objective type question) :

১। সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে কয়টি ট্রাই কার্বক্সিলিক অ্যাসিড আছে?

২। সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র ও ক্রেব চক্র কী এক?

৩। সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রকে ট্রাইকার্বক্সিলিক অ্যাসিড চক্র বলা যায় কী?

৪। এখানে কয়টি ডাইকার্বক্সিলিক অ্যাসিড আছে?

৫। কয়টি ডিহাইড্রোজিনেজ এই চক্রে কাজ করে?

বিষয়মুখী প্রশ্ন (Subjective type question) :

১। কোন্ কোন্ বিক্রিয়ায় CO_2 প্রস্তুত হয় এবং কেন হয় ব্যাখ্যা করুন।

২। কোন্ কোন্ বিক্রিয়ায় NAD ও FAD সহউৎসেচক হিসাবে কাজ করে?

৩। ফিউমারেজের কাজ কী?

৪। কোন্ বিক্রিয়ায় GTP তৈরি হয় এবং কেন?

৫। NADH ও $FADH_2$-এর পরিণতি কী?

[সংশ্লিষ্ট একক ও তার অংশ থেকে সহজেই উত্তরগুলি খুঁজে নিতে পারবেন]

একক 10 ❑ বিশেষ জারণ একক (Special Oxidation Unit)

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

10.2 মাইটোকন্ড্রিয়ার গঠন

10.3 মাইটোকন্ড্রিয়ার জারণ ও বিজারণ

10.4 রাসায়নিক জারণ ও বিজারণ

10.5 জারণ ও বিজারণে ATP প্রস্তুতি

10.6 সারাংশ

10.7 প্রশ্নাবলি

10.8 5–10 এককের জন্য সহায়ক গ্রন্থাবলি

10.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা : প্রাণরাসায়নিক ক্রিয়ার ব্যয়যোগ্য শক্তি ATP-তে সঞ্চিত থাকে। এই শক্তি উৎপন্ন বা নির্গত হয় যে প্রক্রিয়ায় তাতে মাইটোকন্ড্রিয়ার ভূমিকা অসীম গুরুত্বপূর্ণ। অনেকটা ব্যাকটিরিয়ার মত আকার বিশিষ্ট মাইটোকন্ড্রিয়া অঙ্গাণুটিতে বহুবিধ উৎসেচক থাকে যারা রাসায়নিক দ্রব্যের জারণ-বিজারণে অংশ গ্রহণ করে। এজন্য একে বিশেষ জারণ একক বলে।

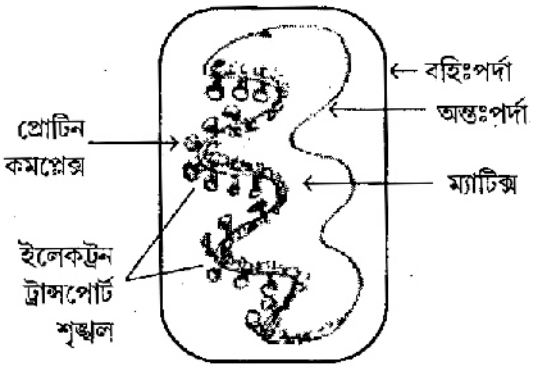
উদ্দেশ্য : এই এককটি পড়ে ও অনুধ্যান করে আপনারা মাইটোকন্ড্রিয়ার গঠন ও দ্রব্যের জারণ-বিজারণে এর ভূমিকা সম্বন্ধে সম্যক অবহিত হতে পারবেন।

10.2 মাইটোকন্ড্রিয়ার গঠন

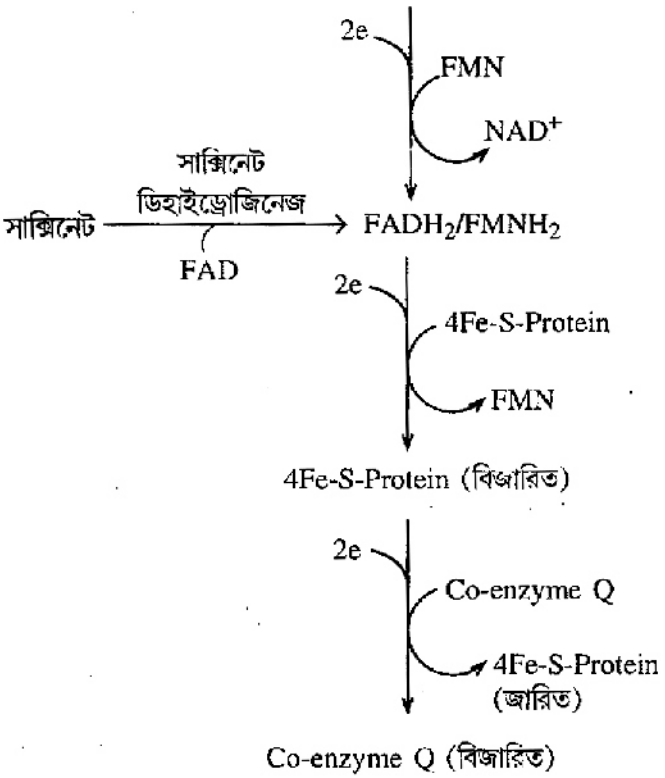
মাইটোকন্ড্রিয়ায় বিজারিত NADH ও $FADH_2$ পুনরায় জারিত হয়। এই মাইটোকন্ড্রিয়ার অঙ্গাণুটির গঠন একটু জটিল। এটি দুইটি পর্দার দ্বারা গঠিত। বহিঃপর্দার তুলনায় অন্তঃপর্দাটির আকার বৃহৎ এবং এই বৃহদাকার অন্তঃপর্দাটি বহিঃপর্দাটির মধ্যে সন্নিবেশিত হতে কয়েকটি ভাঁজ সৃষ্টি হয়। এদের বলা হয় ক্রিষ্টি

(Cristae); সাইটোপ্লাজমের মত জেলির ন্যায় পদার্থ এই অন্তঃপর্দার মধ্যে থাকে। তাকে ম্যাট্রিক্স বলে (Matrix)। বহিঃপর্দা, অন্তঃপর্দা ও ম্যাট্রিক্সে বিশেষ বিশেষ উৎসেচক আছে। ঐ উৎসেচকগুলির উপস্থিতি জানিয়েদেয় মাইটোকন্ড্রিয়া অথবা তার অংশের উপস্থিতি।

আবার অন্তঃপর্দাটিকে রাসায়নিক বিশ্লেষণ করে দেখা গেছে ⚲-আকৃতির প্রোটিন কমপ্লেক্স সাজানো আছে অন্তঃপর্দাটিতে। আরও কতকগুলি বিশেষ প্রোটিন আছে অন্তঃপর্দায় যারা ইলেকট্রন বহন করে নিয়ে যায় অক্সিজেনের কাছে। এই ইলেকট্রন বহনকারী প্রোটিনের সারির নাম ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট শৃঙ্খল অথবা ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন (Electron Transport Chain)।

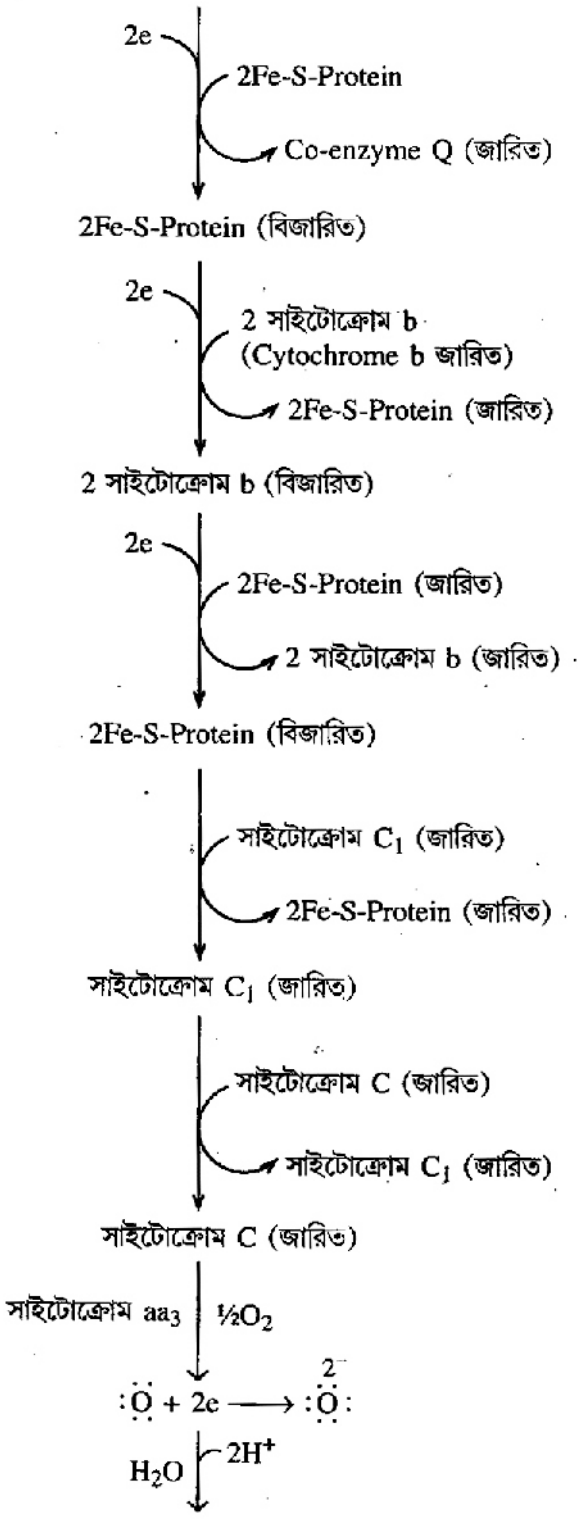


10.3 মাইটোকন্ড্রিয়ায় জারণ ও বিজারণ



NADH ডিহাইড্রোজিনেজ, এই উৎসেচকের সহউৎসেচক 2C NADH হইতে FMN-এ স্থানান্তরিত (Transported) হয় এই উৎসেচকের সাহায্যে।

Fe-S-Protein গুলিতে Fe^{+2} ও Fe^{+3}-এর রূপে জারণ-বিজারণ ঘটে। NAD, FAD/FMN এবং Co-enzyme Q-র গঠনগুলি এমন যে এরা নিজেরাই ইলেকট্রনগুলি বহন করতে পারে। সাইটোক্রোমগুলিতেও $Fe^{+2} \rightleftharpoons Fe^{+3}$ এইরূপ পরিবর্তন দেখা যেতে পারে। শুধু সাইটোক্রোম aa_3-তে হিম আয়রন ছাড়াও কপার থাকে, যেটি জারণ-বিজারণ ক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে। ($Cu^{+2} \rightleftharpoons Cu^{++}$)



মাইটোকণ্ড্রিয়ায় জারণ-বিজারণের জন্য প্রোটিনগুলি নিম্নলিখিতরূপে সজ্জিত—

NAD থেকে ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকগুলির সহায়তায় NADH $3H^+$ তৈরী হয়। অর্থাৎ H : H থেকে 2টি ইলেকট্রনবাহী H : পরমাণু NAD-তে যায় ও NADH বিজারিত NAD) তৈরী হয়। একই সঙ্গে একটি H^+ প্রস্তুত হয়। এই NAD সহউৎসেচকটিকে ফিরে পেতে হলে H : টিকে FMN-এর কাছে পাঠাতে হবে। FMN-টি বিজারিত হলে একইসঙ্গে NAD-টি জারিত হবে। এইভাবেই সমগ্র শৃঙ্খলাটিতে একটি অণু জারিত হওয়ার সময় আরেকটিকে বিজারিত করে। এই প্রক্রিয়ায় শেষ পর্যন্ত O_2-অণুতে উপস্থিত একটি O পরমাণুকে 2টি ইলেকট্রন দিলে 3টি O^{2-}-যৌগমূলকে পরিণত হবে ও $2H^+$-এর সঙ্গে সংযুক্ত হয়ে H_2O (জল) প্রস্তুত করবে।

এই শৃঙ্খলটিতে পর পর যেভাবে যাদের লেখা হলো সেইভাবেই ওরা সজ্জিত মাইটোকণ্ড্রিয়ার অন্তঃপর্দায় ও সেইভাবেই জারণ বিজারণ ক্রিয়াটি চলতে থাকে।

তাহলে aerobic oxidation বা সবাত জারণ হয় মাইটোকণ্ড্রিয়ায় অক্সিজেনের উপস্থিতিতেও ইলেকট্রনবাহী শৃঙ্খল এর সাহায্যে।

10.4 রাসায়নিক জারণ ও বিজারণ

একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যদি জারণ ও বিজারণ ঘটে তাহলে স্ট্যান্ডার্ড মুক্ত শক্তির পার্থক্য ঘটে—

$\Delta G^{0\prime} = -n\mathcal{F}\Delta E_0'$

n = ইলেকট্রনের সংখ্যা, যা এই পরিবর্তনে অংশগ্রহণ করেছে।

$\mathcal{F}$ = ফ্যারাডে (1 ফ্যারাডে = 23,062 ক্যালোরি)

যদি 2টি ইলেকট্রন বাহিত হয় তবে

$\Delta G^{0\prime} = -2 \times 23{,}062 \times \Delta E_0'$ ক্যালোরি/মোল

$= -2 \times 23{,}062 \times \Delta E_0'$ ক্যালোরি/মোল

যদি $\Delta E^{0\prime}$-র মান ধনাত্মক হয় তবে প্রক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে। যদি $\Delta E^{0\prime}$-র মান জানা থাকে তাহলে আমরা মোট উৎপাদিত শক্তি এই প্রক্রিয়ায় গণনা করতে পারে। কয়েকটি বিক্রিয়ায় $\Delta E^{0\prime}$-র মান দেওয়া হল—

		$\Delta E_0'$ (volts)
$NAD^+ + 2H^+ + 2e$	$\rightleftharpoons$ $NADH + H^+$	− 0.32
2 Co-enzyme Q + $2H^+ + 2e$	$\rightleftharpoons$ Co-enzyme Q (বিজারিত)	+ 0.10
2 সাইটোক্রোম b + $2e^-$	$\rightleftharpoons$ 2 সাইটোক্রোম b (বিজারিত)	+ 0.03
2 সাইটোক্রোম c + $2e^-$	$\rightleftharpoons$ 2 সাইটোক্রোম c (বিজারিত)	+ 0.234
$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e$	$\rightleftharpoons$ H_2O	+ 0.816

$\therefore NAOH + H^+ + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow NAD^+ + H_2O$

এই বিক্রিয়ায় $\Delta G^{0\prime}$-এর মান − 52.7 K cal/mol.

এই শক্তি থেকে 3 অণু ATP তৈরি হয় ও বাকি শক্তি দেহের তাপ বজায় রাখতে ব্যবহৃত হয়

$3ADP + 3Pi \longrightarrow 3ATP + 3H_2O.$

এই বিক্রিয়ায় $\Delta G^{0\prime}$-এর পরিমাণ $+ 3 \times 7.3 = + 21.9$ K cal/mol.

অতএব, এক অণু NADH থেকে পুনরায় NAD হতে 3টি ATP প্রস্তুত হয়।

10.5 জারণ ও বিজারণে ATP-র প্রস্তুতি

গ্লুকোজ বা শর্করার সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশকালে 1টি NADH ও চক্রে 3টি NADH

অর্থাৎ মোট 4টি NADH থেকে 12টি ATP হয়
1টি $FADH_2$ থেকে 2টি ATP হয়
ও 1টি ধাপে 1টি GTP হয়

অর্থাৎ মোট 15টি ATP হয়

[যেহেতু NADH থেকে ইলেকট্রন জোড় FAD অথবা FMN-এ যাওয়ার জন্য যে শক্তি নির্গত হওয়ার কথা তা পাওয়া যায় না, তাই 2টির বেশি ATP পাওয়া যায় না।]

অতএব 2টি পাইরুভেট থেকে 30টি ATP হবে
এবং গ্লাইকোলিসিসে মোট 2টি ATP হবে
∴ মোট 32টি ATP হবে

তাহলে, 1টি গ্লুকোজ অণু থেকে 32টি ATP অণু শক্তি সঞ্চয় করবে। অ্যামিনো অ্যাসিডগুলি যে স্থান থেকে অর্থাৎ (অক্সালো অ্যাসিটেট অথবা পাইরুভেট অথবা গ্লুটামেট) সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে প্রবেশ করবে তার উপরে নির্ভর করবে কতগুলি ATP সঞ্চয় করতে পারবে। যদিও উৎপাদন অ্যামিনো অ্যাসিডের কাজ নয়। ফ্যাটি অ্যাসিডের কার্বন সংখ্যার উপরে নির্ভর করে কতগুলি অ্যাসিটাইল SCoA তৈরী হবে। যদি উদাহরণ হিসাবে, ধরা যায় পামিটিক অ্যাসিড (যুগ্ম সংখ্যার) অর্থাৎ $C_{16}H_{32}O_2$ তাহলে ATP উৎপাদন হবে 129টি ATP ও 145টি H_2O অণুর সৃষ্টি হবে। অর্থাৎ ফ্যাটি অ্যাসিডের জারণ হলে অনেক জলও প্রস্তুত হবে। এই প্রক্রিয়ায় ঘটে মরুভূমিতে বিচরণশীল উটের শরীরে। উঁটের কুঁজে অনেক ফ্যাট আছে এবং তার জারণের ফলেই উটের জলের প্রয়োজনীয়তা ও শক্তির সরবরাহ দুইই মেটে।

10.6 সারাংশ

- মাইটোকন্ড্রিয়ার আকার অনেকটা ব্যাকটেরিয়ার মত। দুটি মেমব্রেন থাকে। ইনার বা ভিতরের মেমব্রেনের ক্ষেত্রফল ব্যাকটেরিয়ার তুলনায় বেশি হওয়ায় এতে অনেক ভাঁজ থাকে—এদের বলে ক্রিস্টি।
- মাইট্রোকন্ড্রিয়ার দুটি মেমব্রেন ও ম্যাট্রিক্সে অনেক উৎসেচক থাকে যারা রাসায়নিক দ্রব্যের জারণে ও বিজারণে সাহায্য করে।
- মাইটোকন্ড্রিয়াতে জারণ হয় ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইনে যেখানে একজোড়া ইলেকট্রন E_0' মানের ভিত্তিতে এক সদস্য থেকে অন্য সদস্য যায় ও তাকে বিজারিত করে।

- উপরিউক্ত পদ্ধতিতে নির্গত শক্তি ATP-তে সঞ্চিত থাকে যাতে প্রাণরাসায়নিক ক্রিয়ায় তৎক্ষণাৎ ব্যয় করা যায়।

10.7 প্রশ্নাবলি

বস্তুমুখী প্রশ্ন (Objective type question) :

১। NADH কেন FMN-কে ইলেকট্রন জোড় দিতে পারে?

২। NADH সরাসরি O_2-কে ইলেকট্রন জোড় দেয় না কেন?

৩। Fe^{++} অথবা Fe^{+++}—কোন্‌টি সাইটোক্রোমে থাকে?

৪। Fe-S প্রোটিনে Fe ও সাইটোক্রোমের Fe-এর মধ্যে পার্থক্য কি?

৫। ATP-তে কত শক্তি সঞ্চিত থাকে।

বিষয়মুখী প্রশ্ন (Subjective type question) :

১। সাইটোক্রোমগুলির মধ্যে তুলনা কর।

২। মাইটোকন্ড্রিয়ার কার্য ব্যাখ্যা কর।

৩। ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন-এর নির্গত শক্তির পরিমাণ গণনা কর।

৪। সাইট্রিক অ্যাসিডে কোন জারণ হয় না—ব্যাখ্যা কর।

৫। NADH ও $FADH_2$-এর পরিণতি কী?

[সংশ্লিষ্ট একক ও তার অংশ থেকে সহজেই উত্তরগুলি খুঁজে নিতে পারবেন]

10.8 5-10 এককের জন্য সহায়ক গ্রন্থাবলি

১। Biochemistry — Lehninger

২। Biochemistry — Stryer

৩। Biochemistry — Debjyoti Das

৪। Biochemistry — Voet & Voet

৫। Biochemistry — Zubay