પ્રકરણ 14

વનસ્પતિઓમાં શ્વસન (Respiration in Plants)

14.1 શું વનસ્પતિઓ શ્વાચ્છોચ્છ્વાસ દર્શાવે છે ?

14.2 ગ્લાયકોલીસીસ

14.3 આથવણ

14.4 જારક શ્વસન

14.5 શ્વસન સંતુલન ચાર્ટ

14.6 ઉભયધર્મી પરિપથ

14.7 શ્વસનાંક

આપણે બધા જીવંત રહેવા માટે શ્વાસ લઈએ છીએ, પરંતુ જીવન માટે શ્વાસોચ્છ્વાસ લેવો એટલો આવશ્યક કેમ છે ? જ્યારે આપણે શ્વાસોચ્છ્વાસ કરીએ છીએ, ત્યારે શું થાય છે ? શું બધા સજીવો, વનસ્પતિઓ હોય કે સૂક્ષ્મજીવો હોય શ્વાસોચ્છ્વાસ કરે છે ? જો એવું હોય તો કેવી રીતે શ્વાસ લે છે ?

બધા સજીવોને પોતાના રોજિંદા કે દૈનિક જીવનમાં શોષણ, પરિવહન, હલનચલન, પ્રજનન જેવાં કાર્યો કરવા માટે અને ત્યાં સુધી કે શ્વાસોચ્છ્વાસ લેવા માટે પણ ઊર્જાની આવશ્યકતા હોય છે. આ બધી ઊર્જા ક્યાંથી આવે છે ? આપણે જાણીએ છીએ કે ઊર્જા માટે આપણે ખોરાક લઈએ છીએ; પરંતુ આ ઊર્જા ખોરાકમાંથી કેવી રીતે મળે છે ? આ ઊર્જા કેવી રીતે ઉપયોગમાં આવે છે ? શું બધા પ્રકારના ખાદ્ય પદાર્થોમાંથી સરખા પ્રમાણની ઊર્જા મળે છે ? શું વનસ્પતિઓ ખોરાક લે છે ? વનસ્પતિઓ આ ઊર્જા ક્યાંથી મેળવે છે ? અને સૂક્ષ્મજીવો આ ઊર્જાની આવશ્યકતા માટે શું ખોરાક મેળવે છે ?

ઉપરોક્ત કરેલા પ્રશ્નોથી તમને આશ્ચર્ય થઈ રહ્યું હશે કે તેઓ અસંબંધિત લાગતા હશે. પરંતુ વાસ્તવમાં શ્વાસોચ્છ્વાસની પ્રક્રિયા તેમજ ખાદ્ય પદાર્થમાંથી મુક્ત થનારી ઊર્જાની પ્રક્રિયામાં ખૂબ વધારે સંબંધ હોય છે. આપણે આ સમજવાનો પ્રયત્ન કરીએ કે આ કેવી રીતે થાય છે ?

જીવન માટે આવશ્યક બધી ઊર્જા કેટલાક મહાઅણુઓના ઑક્સિડેશનથી પ્રાપ્ત થાય છે; જેને ખાદ્ય પદાર્થ કહે છે. માત્ર લીલી વનસ્પતિઓ તેમજ નીલહરિત જીવાણુઓ પોતાનો ખોરાક સ્વયં બનાવી શકે છે. જે પ્રકાશસંશ્લેષણ ક્રિયા દ્વારા પ્રકાશ ઊર્જાને રાસાયણિક ઊર્જામાં રૂપાંતર કરીને ગ્લુકોઝ, સુક્રોઝ તેમજ સ્ટાર્ચના જેવા કાર્બોદિતોના બંધમાં સંચિત કરે છે. આપણે એ યાદ રાખવું જોઈએ કે લીલી વનસ્પતિઓમાં પણ બધા જ કોષો, પેશીઓ અને અંગોમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ થતું નથી. માત્ર તે કોષો, જેમાં હરિતકણો હોય છે કે જે મોટે ભાગે ઉપલા સ્તરમાં સ્થાન પામેલા હોય છે. તેઓ પ્રકાશસંશ્લેષણ કરે છે. કારણ કે લીલી વનસ્પતિઓમાં બધા અંગો, પેશીઓ તેમજ કોષો લીલા હોતા નથી. જેથી તેમાં ખાદ્ય પદાર્થો માટે ઑક્સિડેશનની આવશ્યકતા હોય છે. જેથી ખાદ્ય પદાર્થો હરિતકણ વિહીન ભાગોમાં વહન પામે છે. પ્રાણીઓ વિષમપોષી હોય છે; જેથી તેઓ પોતાનો ખોરાક વનસ્પતિઓમાંથી પ્રત્યક્ષ (શાકાહારી), કે પરોક્ષ(માંસાહારી)ના સ્વરૂપમાં મેળવે છે. મૃતોપજીવી જેવી કે ફૂગ, મૃત કે સડતા પદાર્થો પર નિર્ભર હોય છે. આ જાણી લેવું અત્યંત મહત્ત્વપૂર્ણ

છે કે જીવન માટે આવશ્યક બધા ખાદ્ય પદાર્થો પ્રકાશસંશ્લેષણ દ્વારા પ્રાપ્ત થાય છે. આ પ્રકરણમાં **કોષીય શ્વસન** અથવા **કોષોમાં ખાદ્ય પદાર્થોનું વિઘટન** થવાથી મુક્ત થતી ઊર્જાની ક્રિયાવિધિ અને આ શક્તિના ઉપયોગથી ATPનું સંશ્લેષણ સમજાવેલ છે.

નિઃસંદેહ પ્રકાશસંશ્લેષણ હરિતકણમાં થાય છે. (યુકેરિયોટિક કોષમાં), જો કે ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવા માટે જટિલ અણુઓનું વિઘટન કોષરસ અને કણાભસૂત્રોમાં થાય છે. (તે પણ માત્ર યુકેરિયોટિકમાં). જો કે કોષોમાં જટિલ અણુઓના –C–C– (કાર્બન-કાર્બન) બંધનું, ઑક્સિડેશન થવાથી પર્યાપ્ત માત્રામાં ઊર્જાને મુક્ત કરે છે જેને **શ્વસન** કહે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન જે સંયોજનનું ઑક્સિડેશન થાય છે તેને **શ્વાસ્ય પદાર્થો** સામાન્ય રીતે કાર્બોદિતનું ઑક્સિડેશન થવાથી ઊર્જા મુક્ત થાય છે. પરંતુ કેટલીક વનસ્પતિઓમાં વિશિષ્ટ પરિસ્થિતિઓમાં પ્રોટીન, ચરબી તેમજ ત્યાં સુધી કે કાર્બનિક ઍસિડને પણ શ્વાસ્ય પદાર્થના રૂપમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે. કોષોની અંદર ઑક્સિડેશન દરમિયાન શ્વાસ્ય પદાર્થ આવેલી બધી ઊર્જા કોષમાં એક સાથે મુક્ત થતી નથી કે એક જ તબક્કામાં પણ મુક્ત થતી નથી. આ ઉત્સેચક દ્વારા નિયંત્રિત તબક્કાવાર ધીમી પ્રક્રિયાઓના સ્વરૂપમાં મુક્ત થાય છે, જે રાસાયણિક ઊર્જા ATPના સ્વરૂપમાં સંચિત થાય છે. અહીંયાં એ સમજી લેવું આવશ્યક છે કે શ્વસનમાં ઑક્સિડેશન દ્વારા મુક્ત થતી ઊર્જા સીધી ઉપયોગમાં લેવાતી નથી. પરંતુ આ ATP સંશ્લેષણના ઉપયોગમાં લેવાય છે અને આ ઊર્જા જ્યારે પણ આવશ્યકતા હોય (જ્યાં પણ) ત્યારે તે વિઘટન પામે છે. આ કારણથી ATP કોષ માટે ઊર્જા ચલણના સ્વરૂપમાં કાર્ય કરે છે. ATPમાં સંચય પામેલ ઊર્જા, સજીવોની વિવિધ ઊર્જાની આવશ્યક પ્રક્રિયાઓમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે. શ્વસન દરમિયાન નિર્માણ પામેલો કાર્બનિક પદાર્થ કોષમાં બીજા અણુઓનાં સંશ્લેષણ માટે પૂર્વગામી સ્વરૂપમાં કામમાં આવે છે.

14.1 શું વનસ્પતિઓ શ્વાસોચ્છ્વાસ કરે છે ? (Do Plants Breathe ?)

આ પ્રશ્નનો કોઈ સીધો જવાબ નથી. હા, વનસ્પતિને શ્વસન માટે ઑક્સિજન (O_2)ની આવશ્યકતા હોય છે અને તેઓ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ (CO_2)ને મુક્ત કરે છે. આ કારણથી વનસ્પતિઓમાં એવી વ્યવસ્થા છે, જેમાં ઑક્સિજન (O_2)ની પ્રાપ્યતા સુનિશ્ચિત થાય છે. વનસ્પતિઓમાં પ્રાણીઓની જેમ વાયુઓના વિનિમય માટે વિશિષ્ટ અંગો હોતા નથી. પરંતુ તેમાં વાયુરંધ્ર અને વાતછિદ્રો આ હેતુ માટે આવેલા છે. શા માટે વનસ્પતિઓમાં શ્વસન અંગો હોતા નથી તેના ઘણા કારણો છે. પહેલું કારણ એ છે કે વનસ્પતિઓના પ્રત્યેક ભાગો પોતાના વાયુઓનાં વિનિમયની આવશ્યકતાનું ધ્યાન રાખે છે. વનસ્પતિઓના એક ભાગમાંથી બીજા ભાગમાં વાયુઓનું વહન ખૂબ જ ઓછું થાય છે. બીજું કારણ એ છે કે વનસ્પતિઓમાં વાયુઓના વિનિમયની વધારે જરૂરિયાત હોતી નથી. મૂળ, પ્રકાંડ તેમજ પર્ણોમાં શ્વસન, પ્રાણીની તુલનામાં ખૂબ ધીમા દરે થાય છે. માત્ર પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન વાયુઓનો વિનિમય વધારે થાય છે અને પ્રત્યેક પર્ણ, સંપૂર્ણ રીતે આ પ્રકારથી અનુકૂલિત થાય છે. આ સમયગાળા દરમિયાન તેમની પોતાની જરૂરિયાતનું ધ્યાન રાખે છે. જ્યારે કોષ પ્રકાશસંશ્લેષણ કરે છે ત્યારે ઑક્સિજનની હાજરીની કોઈ સમસ્યા હોતી નથી; કારણ કે કોષમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન ઑક્સિજન મુક્ત થાય છે. ત્રીજું કારણ એ છે કે મોટા કદની ઘટાદાર વનસ્પતિઓમાં વાયુઓ વધારે અંતર સુધી પ્રસરણ પામી શકતા નથી. વનસ્પતિઓમાં પ્રત્યેક જીવંત કોષ વનસ્પતિઓની સપાટીની બિલકુલ નજીક આવેલો હોય છે. પર્ણ માટે આ વિધાન સત્ય છે. તમે એ પૂછી શકો છો કે જાડા, કાષ્ઠીય પ્રકાંડો અને મૂળ માટે શું થાય છે ? પ્રકાંડમાં જીવંત કોષો, છાલ તેમજ છાલની નીચેના

પાતળા સ્તરના સ્વરૂપમાં ગોઠવાયેલ હોય છે. આમાં પણ છિદ્ર હોય છે; જેને વાતછિદ્રો કહે છે. અંદરના કોષો મૃત હોય છે અને તે ફક્ત યાંત્રિક આધાર આપે છે. આમ, વનસ્પતિઓના મોટા ભાગના કોષોની સપાટી હવાના સંપર્કમાં હોય છે. આ ઉપરાંત તે પર્ણ, પ્રકાંડ અને મૂળમાં મૃદુત્તકીય કોષોની શિથિલ ગોઠવણી ધરાવે છે, જે વાયુ અવકાશો તે એકબીજા સાથે સાંકળતું જાળુ બનાવે છે.

ગ્લુકોઝના સંપૂર્ણ દહનથી અંતિમ નીપજના સ્વરૂપમાં કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ (CO_2) અને પાણી (H_2O)ની સાથે ઊર્જા મુક્ત થાય છે. જેનો મોટા ભાગનો જથ્થો ઉષ્મા સ્વરૂપે બહાર આવે છે.

$$C_6H_{16}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ઊર્જા}$$

જો આ ઊર્જા કોષ માટે આવશ્યક હોય. તો તેનો ઉપયોગ કોષમાં બીજા અણુઓનું સંશ્લેષણ કરવામાં થવો જોઈએ. ગ્લુકોઝના અણુનું વિઘટન થવાથી મુક્ત થતી બધી ઊર્જા ઉષ્માના સ્વરૂપમાં વ્યય પામતી નથી. મુખ્ય વાત એ છે કે ગ્લુકોઝનું ઑક્સિડેશન એક તબક્કામાં ન થતાં નાના-નાના અનેક તબક્કાઓમાં થાય છે. જેમાં કેટલાક તબક્કા એટલા મોટા હોય છે કે તેમાંથી મુક્ત થતી ઊર્જા ATPના સંશ્લેષણમાં ઉપયોગમાં આવે છે. આ કેવી રીતે થાય છે ? વાસ્તવમાં આ શ્વસનનો ઇતિહાસ છે.

શ્વસનની ક્રિયાવિધિ દરમિયાન ઑક્સિજનનો ઉપયોગ થાય છે અને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ, પાણી અને ઊર્જા નીપજ તરીકે મુક્ત થાય છે. દહન પ્રક્રિયા માટે ઑક્સિજનની આવશ્યકતા હોય છે પરંતુ, કેટલાક કોષો ઑક્સિજનની હાજરી અને ગેરહાજરીમાં પણ જીવંત રહી શકે છે. શું તમે એવી પરિસ્થિતિઓ વિશે (અને સજીવો) વિચારી શકો છો. જ્યાં ઑક્સિજન પ્રાપ્ય નથી ? વિશ્વાસ કરવા માટે પર્યાપ્ત કારણ છે કે પ્રથમ કોષ આ ગ્રહ પર એવા વાતાવરણમાં મળ્યો હતો, જ્યાં ઑક્સિજનની હાજરી ન હતી. આજે પણ, જે કેટલાક સજીવોમાં આપણે જાણીએ છીએ કે તે ઑક્સિજનરહિત વાતાવરણ માટે પોતાને અનુકૂલિત છે. આમાંથી કેટલાક વૈકલ્પિક પણે અજારક છે, જો કે કેટલાક માટે ઑક્સિજનરહિત સ્થિતિની આવશ્યકતા ફરજિયાત હોય છે. પ્રત્યેક સ્થિતિમાં બધા સજીવોમાં ઉત્સેચકીય તંત્ર હોય છે, જે ગ્લુકોઝને ઑક્સિજનની મદદ વગર આંશિક રીતે ઑક્સિડેશન કરે છે. આ પ્રકારે ગ્લુકોઝનું પાયરૂવિક ઍસિડમાં વિઘટન **ગ્લાયકોલીસીસ** કહેવાય છે.

14.2 ગ્લાયકોલીસીસ (Glycolysis)

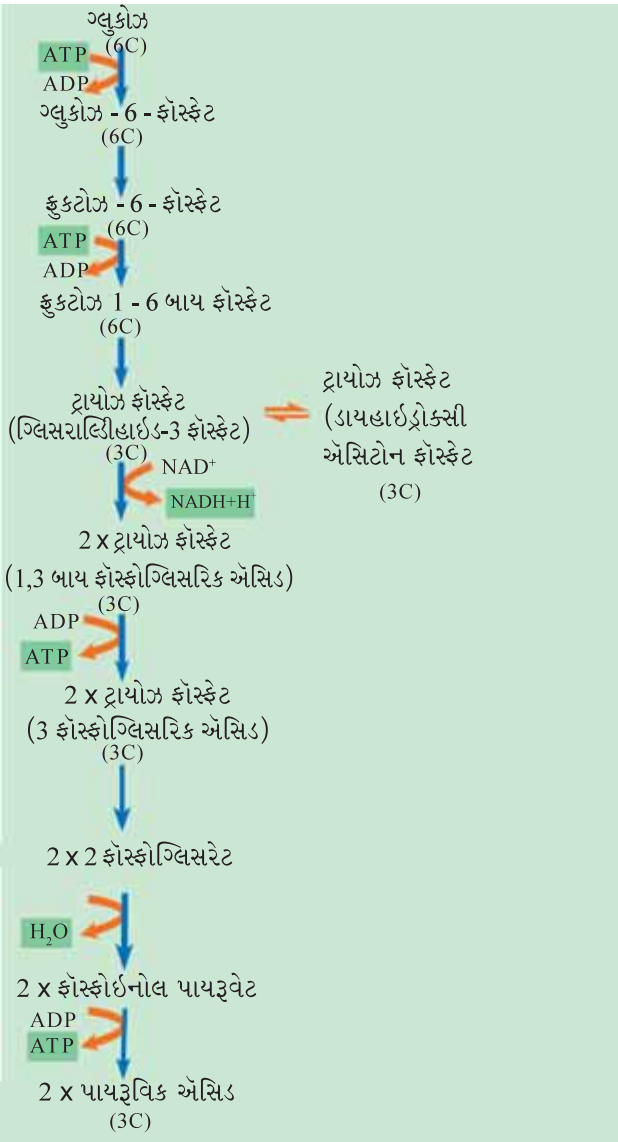
ગ્લાયકોલીસીસ શબ્દની ઉત્પત્તિ ગ્રીક શબ્દ 'ગ્લાઇકોસ'નો અર્થ શર્કરા છે તેમજ 'લાઇસીસ'નો અર્થ તૂટવું કે વિઘટન થાય છે. ગ્લાયકોલીસીસની પ્રક્રિયા ગુસ્તાવ ઇમ્બેડેન, ઓટો મેયરહોફ અને જે પરનાસ દ્વારા અપાયેલ છે અને આને સામાન્યતઃ EMP પરિપથ કહે છે. અજારક સજીવોમાં શ્વસન માત્ર આ પ્રક્રિયા થાય છે. ગ્લાયકોલીસીસ કોષરસમાં થાય છે અને આ બધા સજીવોમાં થાય છે. આ પ્રક્રિયામાં ગ્લુકોઝ આંશિક ઑક્સિડેશન દ્વારા પાયરૂવિક ઍસિડના બે અણુઓમાં ફેરવાય છે. વનસ્પતિઓમાં આ ગ્લુકોઝ, સુક્રોઝમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે, જે પ્રકાશસંશ્લેષણની અંતિમ નીપજ છે અથવા સંચિત કાર્બોદિતમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે. સુક્રોઝ ઇન્વર્ટેઝ કે સુક્રેઝ નામના ઉત્સેચકની મદદથી ગ્લુકોઝ અને ફ્રુક્ટોઝમાં રૂપાંતરિત થાય છે. આ બંને મોનો સેકેરાઇડ સરળતાથી ગ્લાયકોલાઇટિક ચક્રમાં પ્રવેશ કરે છે. ગ્લુકોઝ તેમજ ફ્રુક્ટોઝ, હેક્ઝોકાઈનેઝ ઉત્સેચક દ્વારા ફૉસ્ફોરાયલેશન પામીને ગ્લુકોઝ-6-ફૉસ્ફેટ બનાવે છે. ગ્લુકોઝનું ફૉસ્ફોરાયલેશનના થયા બાદ તેના સમઘટક ફ્રુક્ટોઝ-6-

ફૉસ્ફેટમાં રૂપાંતરિત થાય છે. ગ્લુકોઝ તેમજ ફ્રુક્ટોઝનો ચયાપચયિક પથ એક સરખો હોય છે. ગ્લાયકોલીસીસની વિવિધ પ્રક્રિયાઓ આકૃતિ 14.1માં દર્શાવેલી છે. વિવિધ ઉત્સેચકોના નિયંત્રણ હેઠળની, ગ્લાયકોલીસીસમાં શ્રેણીબદ્ધ દસ (10) પ્રક્રિયાઓ ગ્લુકોઝમાંથી પાયરૂવેટના નિર્માણ માટે થાય છે. ગ્લાયકોલીસીસની વિવિધ પ્રક્રિયાઓના અભ્યાસ દરમિયાન તે પ્રક્રિયાઓ પર ધ્યાન આપો કે જેમાં ATP કે $NADH + H^+$ (આ કિસ્સામાં)નો ઉપયોગ કે સંશ્લેષણ થાય છે.

ATPનો ઉપયોગ બે તબક્કામાં થાય છે : પહેલો તબક્કો જેમાં ગ્લુકોઝ, ગ્લુકોઝ-6-ફૉસ્ફેટમાં રૂપાંતર પામે છે અને બીજો તબક્કો કે જેમાં ફ્રુક્ટોઝ-6-ફૉસ્ફેટનું ફ્રુક્ટોઝ 1-6-બાયફૉસ્ફેટમાં રૂપાંતરણ થાય છે.

ફ્રુક્ટોઝ 1-6-બાયફૉસ્ફેટ વિઘટિત થઈને ડાયહાઈડ્રોક્સી એસિટોન ફૉસ્ફેટ (DHAP) અને 3-ફૉસ્ફોગ્લિસરાલ્ડીહાઈડ (PGAL) બનાવે છે. જ્યારે 3-ફૉસ્ફોગ્લિસરાલ્ડીહાઈડ (PGAL)નું 1-3 બાયફોસ્ફોગ્લીસરેટ (BPGA)માં રૂપાંતરણ થાય છે ત્યારે NAD^+માંથી $NADH+ H^+$નું નિર્માણ થાય છે. PGALમાંથી બે સમાન રેડૉક્ષ બે હાઈડ્રોજન પરમાણુ ($2H^+$)ના સ્વરૂપમાં NAD^+ સાથે જોડાઈને સ્થાયી બનીને એક અણુની જેમ સ્થળાંતરિત થાય છે. PGAL ઑક્સિડેશન પામી અકાર્બનિક ફૉસ્ફેટ મળવાથી BPGAમાં રૂપાંતરિત થાય છે. BPGAનું 3-ફૉસ્ફોગ્લિસરિક ઍસિડમાં પરિવર્તન પણ ઊર્જા ત્યાગી પ્રક્રિયા છે. આ ઊર્જાનો ઉપયોગ ATPના સંશ્લેષણમાં થાય છે. PEP (ફૉસ્ફોઈનોલ પાયરૂવેટ)નું પાયરૂવિક ઍસિડમાં રૂપાંતરણ દરમિયાન પણ ATPનું નિર્માણ થાય છે. શું તમે એ ગણતરી કરી શકો છો કે એક ગ્લુકોઝ અણુમાંથી કેટલા ATPના અણુઓનું પ્રત્યક્ષ સ્વરૂપમાં આ પ્રક્રિયામાં સંશ્લેષણ થાય છે ?

પાયરૂવિક ઍસિડ ગ્લાયકોલીસીસની મુખ્ય નીપજ છે. પાયરૂવેટના ચયાપચયનું ભવિષ્ય શું છે ? તે કોષોની આવશ્યકતા પર આધારિત છે. મુખ્ય ત્રણ રીતો છે. જેમાં વિવિધ કોષો ગ્લાયકોલીસીસ દ્વારા ઉત્પન્ન થતાં પાયરૂવિક ઍસિડનો ઉપયોગ કરે છે. તે લેક્ટિક ઍસિડ આથવણ,

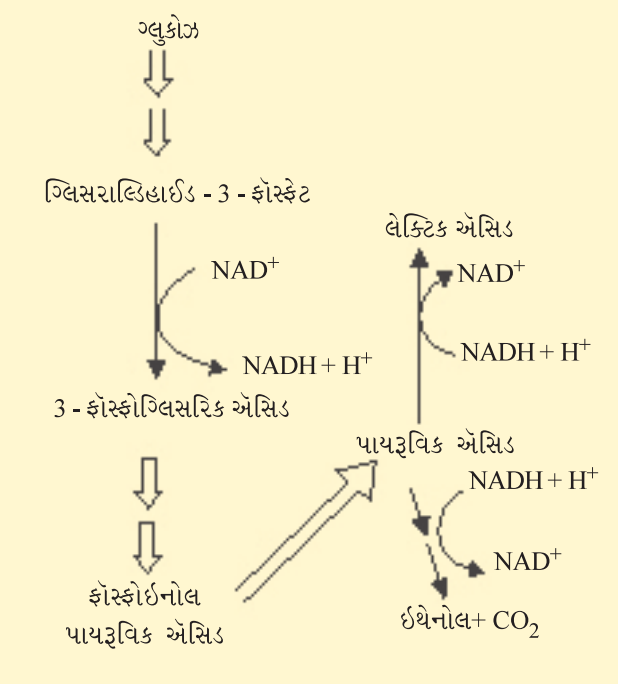


આકૃતિ 14.1 : ગ્લાયકોલીસીસના તબક્કાઓ

આલ્કોહોલિક આથવણ અને જારક શ્વસનમાં ઉપયોગી છે. મોટા ભાગના પ્રોકેરિયોટ્સ અને એકકોષીય યુકેરિયોટ્સમાં આથવણ અજારક પરિસ્થિતિઓમાં થાય છે. ગ્લુકોઝનું પૂર્ણ ઑક્સિડેશનના ફળ સ્વરૂપે કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ અને પાણીનું નિર્માણ કરવા માટે સજીવોમાં ક્રેબ્સચક્ર થાય છે. જેને જારક શ્વસન કે શ્વસન પણ કહે છે. જેમાં ઑક્સિજનની જરૂરિયાત હોય છે.

14.3 આથવણ (Fermentation)

આથવણમાં યીસ્ટ દ્વારા ગ્લુકોઝનું અજારક પરિસ્થિતિઓમાં અપૂર્ણ ઑક્સિડેશન થાય છે. જેમાં પ્રક્રિયાઓના વિવિધ તબક્કાઓ દ્વારા પાયરૂવિક ઍસિડનું કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ તેમજ ઇથેનોલમાં રૂપાંતરણ થાય છે. ઉત્સેચક પાયરૂવિક ઍસિડ ડિકાર્બોક્સીલેઝ તેમજ આલ્કોહોલ ડિહાઈડ્રોજીનેઝ આ પ્રક્રિયાના પ્રેરક ઘટક છે. બીજા સજીવો જેવાં કે કેટલાક બૅક્ટેરિયા પાયરૂવિક ઍસિડમાંથી લેક્ટિક ઍસિડનું નિર્માણ કરે છે. આમાં સમાયેલ તબક્કાઓ આકૃતિ 14.2માં દર્શાવેલ છે. પ્રાણીઓની સ્નાયુ પેશીઓના કોષોમાં કસરત દરમિયાન કે પરિશ્રમ દરમિયાન જ્યારે કોષીય શ્વસન માટે અપૂરતી માત્રામાં ઑક્સિજન હોય છે ત્યારે પાયરૂવિક ઍસિડ લેક્ટેટ ડિહાઈડ્રોજીનેઝ ઉત્સેચક દ્વારા લેક્ટિક ઍસિડમાં રૂપાંતરિત થાય છે. રીડ્યુસીંગકારક ઘટક NADH+ H^+, જે બંને પ્રક્રિયાઓમાં NAD^+માં પુનઃ ઑક્સિડેશન પામે છે.



આકૃતિ 14.2 : અજારક શ્વસનના મુખ્ય પરિપથો

લેક્ટિક ઍસિડ અને આલ્કોહોલિક આથવણ બંનેમાં વધારે માત્રામાં ઊર્જા મુક્ત થતી નથી. ગ્લુકોઝમાં રહેલ 7 % થી ઓછી ઊર્જા મુક્ત થાય છે અને તેથી ઊર્જાનો ઉપયોગ ઉચ્ચ ઊર્જાયુક્ત બંધવાળા ATPના નિર્માણમાં થતો નથી. ઍસિડ કે આલ્કોહોલ નિર્માણ કરતી ઉત્પાદનની પ્રક્રિયાઓ હાનિકારક હોય છે. ગ્લુકોઝના એક અણુના આથવણ પછી આલ્કોહોલ કે લેક્ટિક ઍસિડના નિર્માણ દરમિયાન કેટલા વાસ્તવિક ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે ? (ગ્લાયકોલીસીસમાં કેટલા અણુ ATP સંશ્લેષણ પામે છે અને કેટલા અણુ ATP વપરાય છે તેની ગણતરી કરીને) જ્યારે આલ્કોહોલનું પ્રમાણ 13 % કે તેનાથી વધારે હોય છે, ત્યારે યીસ્ટ માટે આ વિષાક્ત બને છે, કે તેના મૃત્યુનું કારણ બને છે. નૈસર્ગિક રીતે આથવણ દ્વારા પ્રાપ્ત પીણામાં આલ્કોહોલની મહત્તમ સાંદ્રતા કેટલી હોય છે ? શું તમે વિચારી શકો છો કે માદક પીણામાં આલ્કોહોલનું પ્રમાણ તેમાં આવેલા આલ્કોહોલની સાંદ્રતાથી વધુ કેવી રીતે મેળવી શકાય છે ?

તે કઈ પ્રક્રિયા છે જેના દ્વારા સજીવમાં ગ્લુકોઝનું સંપૂર્ણ ઑક્સિડેશન થાય છે અને આ દરમિયાન મુક્ત ઊર્જા કોષીય ચયાપચયની આવશ્યકતાને અનુસરીને વધારે ATP અણુઓનું સંશ્લેષણ કરે છે ? યુકેરિયોટિક્સમાં આ બધા તબક્કાઓ કણાભસૂત્રોમાં થાય છે અને આ માટે ઑક્સિજનની જરૂરિયાત હોય છે. **જારક શ્વસન** તે એવી પ્રક્રિયા છે જેના દ્વારા કાર્બનિક પદાર્થોનું ઑક્સિજનની હાજરીમાં સંપૂર્ણ ઑક્સિડેશન થાય છે અને તેના પછી કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ, પાણી અને વધુ જથ્થામાં ઊર્જા મુક્ત થાય છે. આ પ્રકારની શ્વસન પ્રક્રિયા સામાન્યતઃ ઉચ્ચ કક્ષાના સજીવોમાં જોવા મળે છે. આપણે આ પ્રક્રિયાઓનો હવે પછીના વિભાગમાં અભ્યાસ કરીશું.

14.4 જારક શ્વસન (Aerobic Respiration)

કણાભસૂત્રોમાં થતી જારક શ્વસનની પ્રક્રિયા દરમિયાન ગ્લાયકોલીસીસની અંતિમ નીપજ પાયરૂવેટ કોષરસમાંથી કણાભસૂત્રોમાં વહન પામે છે. જારક શ્વસનની મુખ્ય ઘટનાઓ નીચે આપેલી છે :

- હાઇડ્રોજન અણુઓના તબક્કાવાર દૂર થવાથી, ત્રણ CO_2 ના અણુઓ મુક્ત થવાથી પાયરૂવેટનું સંપૂર્ણ ઑક્સિડેશન થાય છે.
- ઇલેક્ટ્રૉન (વીજાણુઓ), હાઇડ્રોજન પરમાણુના ભાગ તરીકે દૂર થઈ O_2ના અણુ તરફ વહન પાામે છે, તેની સાથે ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે.

સૌથી વધારે રસપ્રદ વાત તો એ છે કે પહેલી પ્રક્રિયા કણાભસૂત્રોના મેટ્રિક્સ કે આધારક પ્રદેશમાં થાય છે જ્યારે બીજી પ્રક્રિયા કણાભસૂત્રોના અંતઃ પટલ પર થાય છે.

કોષરસમાં આવેલા કાર્બોદિતનું ગ્લાયકોલાયટિક વિઘટન દ્વારા નિર્માણ પામેલ પાયરૂવેટ, કણાભસૂત્રોના મેટ્રિક્સમાં પ્રવેશ કરે છે. પાયરૂવેટ ડિહાઇડ્રોજીનેઝ ઉત્સેચક દ્વારા ઑક્સિડેટિવ ડિકાર્બોક્ઝાયલેશનની જટિલ સામૂહિક પ્રક્રિયાને ઉત્તેજન મળે છે. પાયરૂવેટ ડિહાઇડ્રોજીનેઝની સાથે અન્ય સહઉત્સેચક કાર્ય કરે છે. જેવાં કે NAD^+ અને સહઉત્સેચક (CoA).

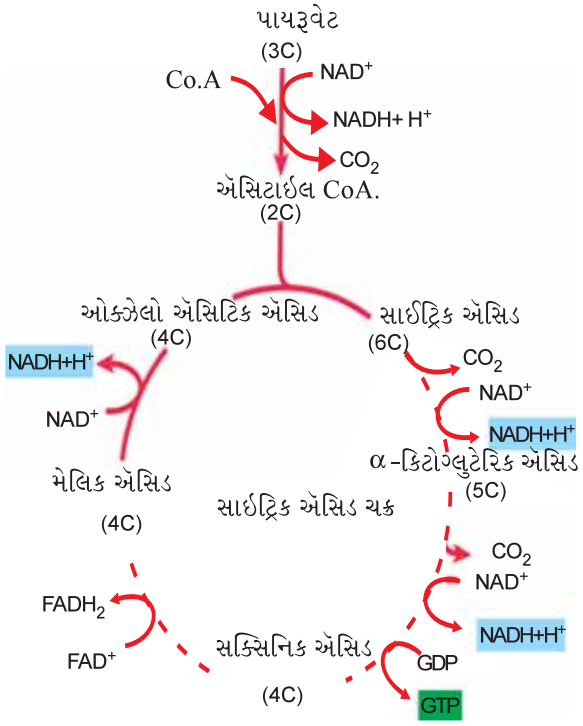
$$\text{પાયરૂવિક ઍસિડ} + \text{Co.A} + NAD^+ \xrightarrow[\text{પાયરૂવેટ ડીહાઈડ્રોજીનેઝ}]{Mg^{+2}} \text{ઍસિટાઇલ CoA} + CO_2 + NADH + H^+$$

આ પ્રક્રિયા દરમિયાન પાયરૂવિક ઍસિડના બે અણુઓનું વિઘટન કે અપચય થવાથી NADHના બે અણુઓનું નિર્માણ થાય છે. (ગ્લાયકોલીસીસ દરમિયાન ગ્લુકોઝના એક અણુમાંથી નિર્માણ પામે છે.)

ઍસિટાઇલ CoA ત્યાર બાદ ચક્રિય પથ, ટ્રાયકાર્બોક્સિલિક ઍસિડ ચક્રમાં પ્રવેશ કરે છે. જેની સમજૂતી હાન્સ ક્રેબ્સ નામના વૈજ્ઞાનિકે આપી હોવાને કારણે તેને ક્રેબ્સ ચક્ર કહે છે.

14.4.1 ટ્રાયકાર્બોક્સિલિક ઍસિડ ચક્ર (TCA) [Tricarboxylic Acid Cycle (TCA)]

TCA ચક્રનો પ્રારંભ ઍસિટાઇલ સમૂહની ઓકઝેલો ઍસિટિક ઍસિડ (OAA) અને પાણી સાથે સંગઠિત થવાથી સાઇટ્રિક ઍસિડના નિર્માણ સાથે થાય છે, (આકૃતિ 14.3). આ પ્રક્રિયા સાઇટ્રેટ સિન્થેટેઝ ઉત્સેચક દ્વારા થાય છે અને Co.Aના એક અણુને મુક્ત કરે છે. હવે સાઇટ્રેટનું આઇસો સાઇટ્રેટમાં સમઘટતાકરણ (આઇસોમેરિઝમ) દ્વારા રૂપાંતર થાય છે. આ ડીકાર્બોક્સિલેશનના બે સળંગ તબક્કાઓના દ્વારા આગળ વધે છે. જે આલ્ફા-કિટોગ્લુટેરિક ઍસિડ (α-કિટોગ્લુટેરિક ઍસિડ), ત્યાર પછી સક્સિનાઇલ Co.Aનું નિમાણ કરે છે. સાઇટ્રિક ઍસિડના



આકૃતિ 14.3 : સાઇટ્રિક ઍસિડ ચક્ર

બાકીના તબક્કાઓમાં સક્સિનાઇલ Co.A; OAA (ઓક્ઝેલો ઍસિટિક ઍસિડ)માં ઑક્સિડેશન પામીને ચક્રમાં આગળ વધવામાં મદદરૂપ થાય છે. સક્સિનાઇલ Co.Aમાંથી સક્સિનિક ઍસિડના રૂપાંતરણ દરમિયાન GTPના એક અણુનું નિર્માણ થાય છે. આ પ્રક્રિયાને આધારક આધારિત ફૉસ્ફોરાયલેશન કહે છે. આ યુગ્મ પ્રક્રિયાઓમાં GTP, GDPમાં રૂપાંતરણ પામે છે અને ADPનું ATPમાં નિર્માણ કરે છે. ચક્રમાં ત્રણ સ્થાન એવા છે જેમાં NAD^+નું $NADH + H^+$માં રિડક્શન થાય છે. અને એક સ્થાને FAD^+નું $FADH_2$માં રિડક્શન થાય છે. TCA ચક્ર દ્વારા ઍસિટાઇલ Co.Aનો ઉત્સેચકીય ઍસિડનું નિરંતર ઑક્સિડેશન માટે ઓક્ઝેલો ઍસીટેટના પુનઃ નિર્માણની આવશ્યકતા હોય છે. જે આ ચક્રનો પ્રથમ સભ્ય છે. વધુમાં NAD^+ અને FAD^+નું પુનઃનિર્માણ ક્રમશઃ $NADH + H^+$ અને $FADH_2$માંથી થવું જરૂરી છે. આમ, શ્વસનની આ અવસ્થાના સમીકરણને સંક્ષિપ્તમાં નીચે પ્રમાણે દર્શાવાય છે :

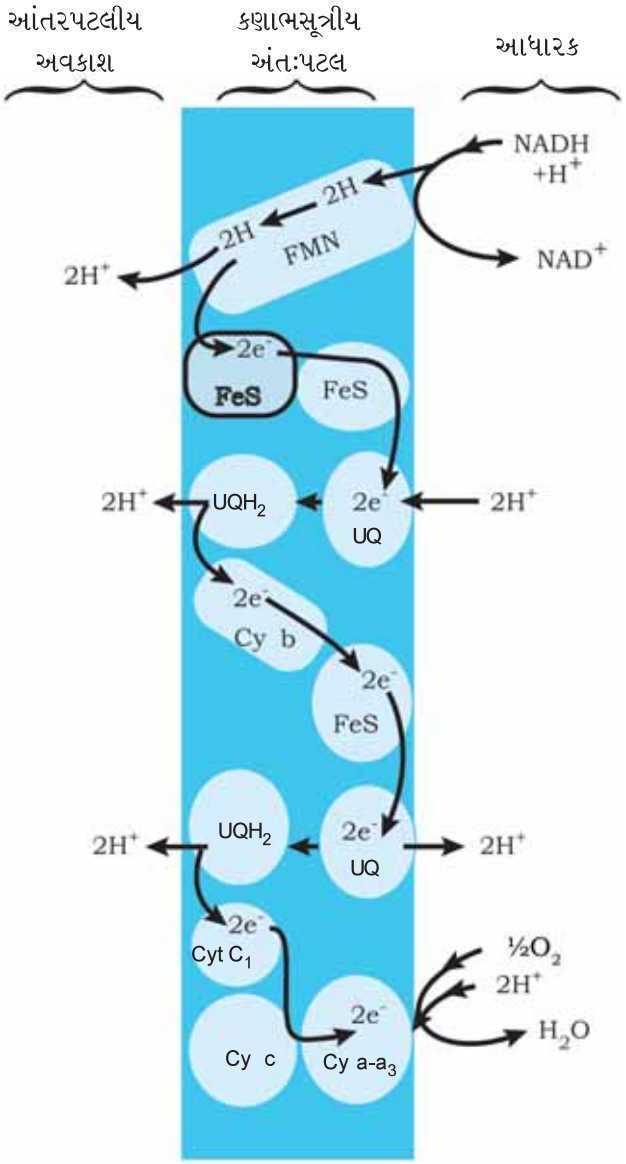
$$\text{પાયરૂવિક ઍસિડ} + 4NAD^+ + FAD^+ + 2H_2O + ADP + P_i \xrightarrow{\text{કણાભસૂત્રના મેટ્રિક્સ (આધારક દ્રવ્ય)}} 3CO_2 + 4NADH + 4H^+ + FADH_2 + ATP$$

અત્યાર સુધી આપણે જોઈ ચૂક્યા છીએ કે ગ્લુકોઝનું વિઘટન થવાથી કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ (CO_2) મુક્ત થાય છે. $NADH + H^+$ના આઠ અણુ, $FADH_2$ના બે અણુઓ અને બે ATPના અણુઓ નિર્માણ પામે છે. તમને આશ્ચર્ય થતું હશે કે અત્યાર સુધી શ્વસનની ચર્ચા દરમિયાન ન તો ક્યાંય ઑક્સિજનના ઉપયોગની અને ન તો ક્યાંય ATPના ઘણા બધા અણુઓના નિર્માણની ચર્ચા કરી છે. આ ઉપરાંત $NADH + H^+$ અને $FADH_2$ના સંશ્લેષણની ભૂમિકા શું હશે ? આપણે એ સમજવું પડશે કે શ્વસનમાં ઑક્સિજનની ભૂમિકા શું છે ? અને ATP કેવી રીતે નિર્માણ પામે છે ?

14.4.2 ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્ર અને ઑક્સિડેટિવ ફૉસ્ફોરાયલેશન [Election Transport System (ETS) and Oxidative Phosphorylation]

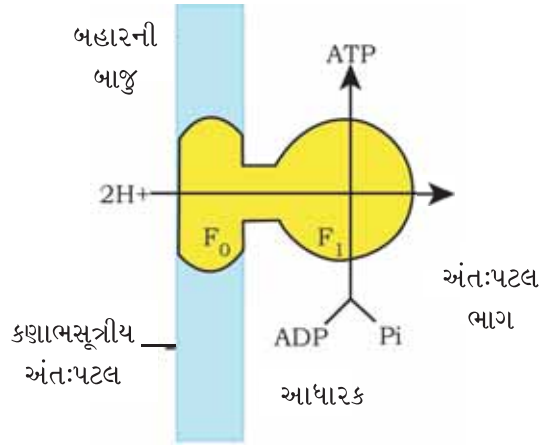
શ્વસન પ્રક્રિયાના હવેના તબક્કામાં $NADH^+ H^+$ અને $FADH_2$માં સંચય પામેલી ઊર્જા મુક્ત થાય તેમજ ઉપયોગમાં લેવાય છે. આ ત્યારે પ્રાપ્ત થાય છે જ્યારે તેઓનું ઑક્સિડેશન ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્ર દ્વારા થાય છે અને પાણીના નિર્માણ માટે ઇલેક્ટ્રૉન (વીજાણુ) O_2ને પ્રાપ્ત થાય છે. ચયાપચય પરિપથ જેના દ્વારા ઇલેક્ટ્રૉન એક વાહકથી અન્ય વાહક તરફ જાય છે. તેને **ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્ર (ETS)** કહે છે, (આકૃતિ 14.4). અને તે કણાભસૂત્રોના અંતઃ પટલમાં થાય છે. કણાભસૂત્રોના આધારકમાં TCA ચક્ર દરમિયાન NADHથી નિર્માણ પામતા ઇલેક્ટ્રૉન, ઉત્સેચક NADH ડિહાઇડ્રોજીનેઝ (સંકુલ - I)

દ્વારા ઑક્સિડાઈઝ થાય છે. ત્યારબાદ ઇલેક્ટ્રૉન અંતઃ પટલમાં આવેલ યુબીક્વિનોન તરફ સ્થળાંતરિત થાય છે. યુબીક્વીનોન $FADH_2$ (સંકુલ - II)ના રિડક્શન દ્વારા તેટલા જ ઇલેક્ટ્રૉન પ્રાપ્ત કરે છે, જે સાઇટ્રિક ઍસિડ ચક્રમાં સક્સિનિક ઍસિડનું ઑક્સિડેશન દરમિયાન ઉત્પન્ન થાય છે. રિડ્યુસ્ડ યુબીક્વિનોન (યુબીક્વિનોલ) ઇલેક્ટ્રૉનને સાયટોક્રોમ તરફ સાયટોક્રોમ b c_1 મારફતે સ્થળાંતરિત કરી તે ઑક્સિડાઈઝ્ડ પામે છે. (સંકુલ - III). સાયટોક્રોમ c એક નાનો પ્રોટીન છે જે અંતઃ પટલની બાહ્ય સપાટી પર જોડાયેલો હોય છે. જે ઇલેક્ટ્રૉનને સંકુલ - III અને સંકુલ - IV વચ્ચે સ્થળાંતરિત કરાવનાર, ગતિશીલ વાહકના રૂપમાં કાર્ય કરે છે. સંકુલ - IV સાયટોક્રોમ c ઑક્સિડેઝ સંકુલ છે, જેમાં સાયટોક્રોમ a અને a_3 અને બે કૉપર કેન્દ્ર ધરાવે છે.



આકૃતિ 14.4 : ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્ર (ETS)

જ્યારે ઇલેક્ટ્રૉન, ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન શૃંખલામાં એક વાહકથી બીજા વાહક સુધી સંકુલ - Iથી સંકુલ - IV દ્વારા પસાર થાય છે, ત્યારે તેઓ ATP સિન્થેટેઝ (સંકુલ - V)થી યુગ્મિત થઈને ADP તેમજ અકાર્બનિક ફૉસ્ફેટ (P_i) દ્વારા ATPનું નિર્માણ કરે છે. આ દરમિયાન સંશ્લેષિત થનારા ATP અણુઓની સંખ્યા ઇલેક્ટ્રૉન દાતા પર નિર્ભર છે. NADHના એક અણુનું ઑક્સિડેશનથી ATPના ત્રણ અણુઓનું નિર્માણ થાય છે. જ્યારે $FADH_2$ના એક અણુમાંથી ATPના બે અણુ બને છે. જો કે શ્વસનની જારક પ્રક્રિયા ઑક્સિજનની હાજરીમાં જ પૂરી થાય છે. પ્રક્રિયાના અંતિમ ચરણમાં ઑક્સિજનની ભૂમિકા સીમિત છે. જો કે ઑક્સિજનની હાજરી અતિ આવશ્યક છે; કારણ કે આ સમગ્ર તંત્રમાંથી H_2 (હાઇડ્રોજન)ને મુક્ત કરીને સમગ્ર પ્રક્રિયાને સંચાલિત કરે છે. ઑક્સિજન અંતિમ હાઇડ્રોજન ગ્રાહકના સ્વરૂપમાં કાર્ય કરે છે. ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન કરતાં વિરુદ્ધ, જ્યાં પ્રોટીન દ્વાળનાં નિર્માણમાં પ્રકાશ-ઊર્જાનો ઉપયોગ ફોસ્ફોરાયલેશન માટે થાય છે. શ્વસનની આ પ્રકારની પ્રક્રિયામાં ઑક્સિડેશન રિડક્શન દ્વારા ઊર્જાની પૂર્તિ થાય છે. જેના ફળ સ્વરૂપે આ કારણથી થતી આ ક્રિયાવિધિને ઑક્સિડેટિવ ફોસ્ફોરાયલેશન કહે છે.



આકૃતિ 14.5 : કણાભસૂત્રોમાં ATP સંશ્લેષણની રેખાંકિત પ્રસ્તુતિ

પટલ સાથે સંકળાયેલ ATP સંશ્લેષણની ક્રિયાવિધિના વિષયમાં તમે પહેલા અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છો. જેને અગાઉના પ્રકરણમાં રસાયણાસૃતિ અધિતર્ક (કેમિઓસ્મોટિક સિદ્ધાંત) દ્વારા વર્ણવેલ છે. જેમ કે પહેલા વર્ણવેલું છે કે ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્ર દરમિયાન મુક્ત ઊર્જાનો ઉપયોગ ATP સિન્થેટેઝ (સંકુલ - V)ની મદદથી ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે. આ સંકુલ, બે મુખ્ય ઘટક F_o તેમજ F_1થી બનેલા છે. (આકૃતિ 14.5). F_1 શીર્ષ પ્રદેશની રચના પરિઘીય પટલમય પ્રોટીન સંકુલની બનેલી છે. જ્યાં અકાર્બનિક ફૉસ્ફેટ અને ADPમાંથી ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે. F_o એક અંતર્ગત કલા પ્રોટીન સંકુલ છે. જે ચૅનલ બનાવે છે. જેના દ્વારા પ્રોટોન આંતરિક પટલને પાર કરે છે. ચૅનલ દ્વારા પ્રોટોન પસાર થવાથી ATPના ઉત્પાદન માટે F_1 ઘટકની ઉત્સેચકીય સપાટી સાથે જોડવામાં આવે છે. ઇલેક્ટ્રૉન પ્રોટોન કેમિકલ ઢોળાંશના ફળ સ્વરૂપે $2H^+$ આયન આંતરપટલીય અવકાશમાંથી F_oમાં થઈને કણાભસૂત્રના મેટ્રિક્સ તરફ ગતિ કરે છે. જેથી એક ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે.

14.5 શ્વસન સંતુલન ચાર્ટ (The Respiratory Balance Sheet)

પ્રત્યેક ઓક્સિડાઇઝ્ડ ગ્લુકોઝ અણુથી નિર્માણ થનાર વાસ્તવિક ATPની ગણતરી કરવી હવે સંભવિત છે; પરંતુ વાસ્તવમાં આ એક સૈદ્ધાંતિક અભ્યાસ જ રહી ગયો છે. આ ગણતરી કેટલીક નિશ્ચિત કલ્પનાઓને આધારે જ કરી શકાય છે.

- આ એક ક્રમિક, સુવ્યવસ્થિત, ક્રિયાત્મક પરિપથ છે જેમાં એક ક્રિયાસ્થાનથી બીજા ક્રિયાસ્થાનનું નિર્માણ થાય છે, જેમાં ગ્લાયકોલીસીસથી શરૂ થઈ TCA ચક્ર અને ETS પરિપથ એક પછી એક આવે છે.
- ગ્લાયકોલીસીસમાં સંશ્લેષિત NADH કણાભસૂત્રોમાં આવે છે, જ્યાં તેનું ઓક્સિડેટીવ ફૉસ્ફોરાયલેશન થાય છે.
- પરિપથનો કોઈ પણ મધ્યવર્તી બીજા સંયોજનના નિર્માણમાં ભાગ લેતો નથી.
- શ્વસનમાં માત્ર ગ્લુકોઝનો જ ઉપયોગ થાય છે. જેથી બીજા વૈકલ્પિક પ્રક્રિયકો પથમાં કોઈ પણ મધ્યવર્તી તબક્કામાં પ્રવેશ કરતાં નથી.

જો કે આ પ્રકારની કલ્પના સજીવ તંત્રમાં વાસ્તવમાં તર્કસંગત હોતી નથી; બધા પરિપથ એક પછી એક નથી; પણ એક સાથે કાર્ય કરે છે. પરિપથમાં પ્રક્રિયક આવશ્યકતા અનુસાર બહાર અને અંદર આવજા કરી શકે છે. આવશ્યકતા અનુસાર ATPનો ઉપયોગ થઈ શકે છે. ઉત્સેચકીય ક્રિયાઓનો દર ઘણી રીતે નિયંત્રિત થાય છે. છતાં પણ આ ક્રિયા કરવી ઉપયોગી છે; કારણ કે સજીવ તંત્રમાં ઊર્જાના નિષ્કર્ષણ તેમજ સંગ્રહણ માટે તેમની કાર્યદક્ષતા આવકાર્ય છે. આમ; જારક શ્વસન દરમિયાન ગ્લુકોઝના એક અણુમાંથી 38 ATP અણુઓની વાસ્તવિક પ્રાપ્તિ થાય છે.

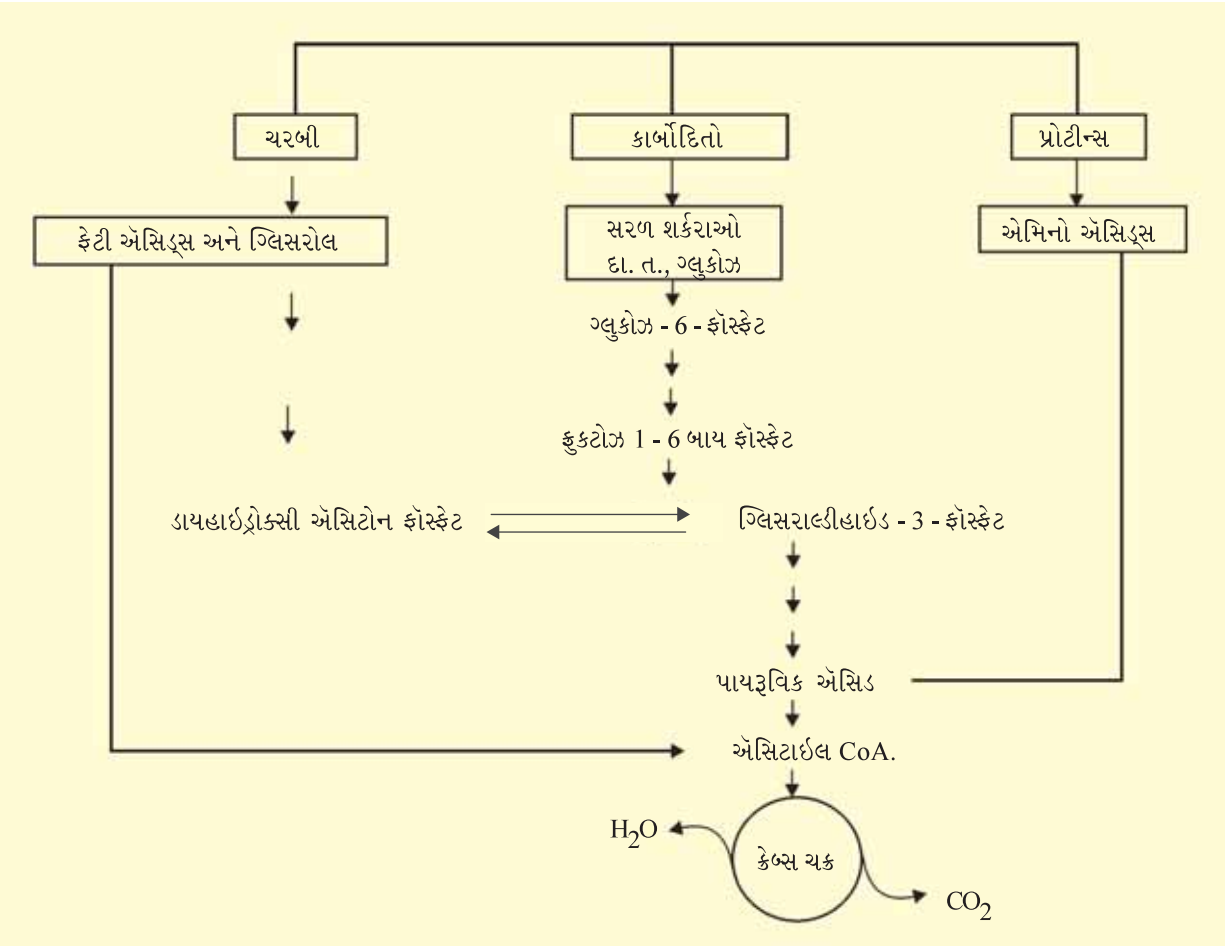
હવે આપણે આથવણ અને જારક શ્વસનની તુલના કરીએ.

- આથવણમાં ગ્લુકોઝનું આંશિક વિઘટન થાય છે જો કે જારક શ્વસનમાં પૂર્ણ વિઘટન થાય છે અને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ તેમજ પાણી નિર્માણ પામે છે.
- આથવણમાં ગ્લુકોઝના અણુમાંથી પાયરૂવિક ઍસિડના નિર્માણ દરમિયાન ATPના બે વાસ્તવિક અણુની પ્રાપ્તિ થાય છે; જ્યારે જારક શ્વસનમાં ખૂબ વધારે ATPના અણુઓ નિર્માણ પામે છે.
- આથવણમાં NADHનું NAD^+માં ઑક્સિડેશન મંદ પ્રક્રિયા થાય છે, જ્યારે જારક શ્વસનમાં આ પ્રક્રિયા તીવ્ર ગતિથી થાય છે.

14.6 ઉભયધર્મી પરિપથ (Amphibolic Pathway)

શ્વસન માટે અનુકૂળ પ્રક્રિયક ગ્લુકોઝ છે. શ્વસનમાં બધા કાર્બોદિતનો ઉપયોગ થતાં પહેલાં તેઓ ગ્લુકોઝમાં પરિવર્તિત થાય છે, જેમ કે અગાઉ દર્શાવેલ છે કે બીજા પ્રક્રિયકો પણ શ્વસનમાં ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. પરંતુ તેઓ શ્વસનના પહેલાં તબક્કામાં ઉપયોગમાં લેવાતાં નથી. આકૃતિ 14.6 જુઓ કે જેમાં વિવિધ પ્રક્રિયકો શ્વસન પરિપથમાં કેવી રીતે પ્રવેશે છે. ચરબી સૌથી પહેલાં ગ્લિસરોલ અને ફેટી ઍસિડમાં વિઘટન પામે છે. જો ફેટી ઍસિડ શ્વસનમાં ઉપયોગમાં લેવાય તો તે પહેલાં ઍસિટાઇલ CoA બનાવીને પરિપથમાં પ્રવેશ કરે છે. ગ્લિસરોલ પહેલાં PGALમાં પરિવર્તિત થઈ શ્વસન પરિપથમાં પ્રવેશ કરે છે. પ્રોટીન, પ્રોટીએઝ ઉત્સેચક દ્વારા વિઘટન પામીને એમિનો ઍસિડ બનાવે છે. પ્રત્યેક એમિનો ઍસિડ (ડિએમિનીફીકેશન થયા પછી) પોતાની સંરચનાને આધારે ક્રેબ્સ ચક્રમાં અથવા પાયરૂવેટ અથવા ઍસિટાઇલ CoAના વિવિધ તબક્કાઓમાં પ્રવેશ કરે છે.

શ્વસન દરમિયાન પ્રક્રિયકનું વિઘટન થવાને કારણે શ્વસન ક્રિયામાં પરંપરાગત અપચય પ્રક્રિયા કહે છે અને શ્વસન પરિપથ શ્વસનીય અપચય પરિપથ છે. પરંતુ શું આ સમજ સારી છે ? ઉપર વર્ણવેલ છે કે વિવિધ પ્રક્રિયકો ઊર્જાના હેતુ માટે શ્વસન પરિપથમાં કેવી રીતે પ્રવેશ કરે છે. આ જાણવું મહત્ત્વપૂર્ણ છે કે આ સંયોજન ઉપરોક્ત પ્રક્રિયકનું નિર્માણ કરવા માટે શ્વસનીય પરિપથથી વિખૂટા પડે છે. આમ, શ્વસનીય પરિપથમાં ઉપયોગમાં આવતા પહેલાં ફેટી ઍસિડ પ્રક્રિયક તરીકે પ્રવેશી ઍસિટાઇલ CoAમાં વિઘટન પામે છે. જ્યારે સજીવને ફેટી ઍસિડનું સંશ્લેષણ કરવાની જરૂર પડે છે ત્યારે થાય છે; શ્વસન પરિપથમાંથી ઍસિટાઇલ CoA દૂર થઈ જાય છે. જેથી ફેટી ઍસિડનું સંશ્લેષણ અને વિઘટન બંનેમાં શ્વસન પરિપથનો ઉપયોગ થાય છે. આ પ્રકારે પ્રોટીનનું સંશ્લેષણ તેમજ વિઘટન માટે શ્વસન પથ મધ્યસ્થી બને છે. આ રીતે વિઘટનની પ્રક્રિયા ઓછી થાય છે. સજીવોમાં થતી વિઘટનની પ્રક્રિયાઓ અપચય કહેવાય છે અને સંશ્લેષણની પ્રક્રિયાઓ ચય કહેવાય છે. આમ શ્વસન પરિપથ ચય અને અપચય બંને પ્રકારની પ્રક્રિયાને સમાવે છે. તેથી તેને **એમ્ફિબોલિક પરિપથ (ઉભયધર્મી પરિપથ)** કહેવું વધુ યોગ્ય છે, નહીં કે અપચય પરિપથ કહેવું.



આકૃતિ 14.6 : શ્વસન મધ્યસ્થતા દરમિયાન વિવિધ કાર્બનિક અણુઓનું CO_2 અને H_2Oમાં વિઘટનને દર્શાવતો ચયાપચય પરિપથક્રમનો આંતરસંબંધ દર્શાવતો ચાર્ટ

14.7 શ્વસનાંક (Respiratory Quotient)

હવે શ્વસનની બીજી બાબતને જોઈએ. જેમ કે તમે જાણો છો કે જારક શ્વસન દરમિયાન ઑક્સિજનનો ઉપયોગ થાય છે અને કાર્બન ડાયૉક્સાઈડ મુક્ત થાય છે. શ્વસન દરમિયાન મુક્ત થતો કાર્બન ડાયૉક્સાઈડ અને ઉપયોગમાં લેવાતા ઑક્સિજનના ગુણોત્તરને **શ્વસનાંક (RQ)** કહે છે.

$$\text{શ્વસનાંક RQ} = \frac{\text{મુક્ત થતા } CO_2\text{નું કદ}}{\text{ઉપયોગમાં લેવાતા } O_2\text{નું કદ}}$$

શ્વસનાંક, શ્વસન દરમિયાન ઉપયોગમાં લેવાયેલ શ્વાસ્ય પદાર્થ પર નિર્ભર કરે છે.

જો કાર્બોદિત પ્રક્રિયકના રૂપમાં હોય તો પૂર્ણ ઑક્સિડેશન થાય છે જેથી શ્વસનાંક 1 થાય છે; મુક્ત થતા CO_2 અને ઉપયોગમાં લેવાતા O_2ની માત્રા સમાન હોય છે. જે સમીકરણથી સ્પષ્ટ થાય છે –

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ઊર્જા}$$

$$\text{શ્વસનાંક (RQ)} = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1.0$$

જ્યારે ચરબી શ્વસનમાં ઉપયોગમાં લેવાય તો તેનો શ્વસનાંક 1.00થી ઓછો હોય છે. ફેટી ઍસિડ ટ્રાયપામિટીનના રૂપમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે ત્યારે તેમની ગણતરી આ મુજબ થશે.

$$2\underset{\text{ટ્રાયપામિટીન}}{(C_{51}H_{98}O_6)} + 145O_2 \longrightarrow 102CO_2 + 98H_2O + \text{ઊર્જા}$$

$$\text{શ્વસનાંક (RQ)} = \frac{102CO_2}{145O_2} = 0.7$$

જ્યારે પ્રોટીન શ્વાસ્થ પદાર્થના રૂપમાં ઉપયોગમાં લેવાય ત્યારે તેનો શ્વસનાંકનો ગુણોત્તર લગભગ 0.9 થાય છે.

અહીંયાં, આ જાણવું અતિ મહત્ત્વપૂર્ણ છે કે સજીવોમાં શ્વાસ્થ પદાર્થ મોટે ભાગે એક કરતાં વધારે હોય છે; પરંતુ શુદ્ધ પ્રોટીન તેમજ ચરબી શ્વાસ્ય પદાર્થ તરીકે ક્યારેય ઉપયોગમાં આવતા નથી.

સારાંશ

પ્રાણીઓની જેમ વનસ્પતિઓમાં શ્વસન કે વાતવિનિમયના માટે કોઈ વિશિષ્ટ તંત્ર હોતું નથી. રંધ્ર કે વાતછિદ્રો દ્વારા પ્રસરણની ક્રિયાથી વાયુઓની આપ-લે થાય છે. વનસ્પતિઓમાં લગભગ બધા જીવંત કોષો હવા કે વાયુના સંપર્કમાં હોય છે.

જટિલ કાર્બનિક અણુઓનું ઑક્સિડેશન દ્વારા C–C બંધ તૂટે છે. તે ઉપરાંત કોષમાં ઊર્જાની વધુ માત્રા મુક્ત થાય છે. તેને કોષીય શ્વસન કહે છે. શ્વસન માટે ગ્લુકોઝ સૌથી વધુ ઉપયોગી શ્વાસ્થ પદાર્થ છે. ચરબી તેમજ પ્રોટીનનું વિઘટન થયા બાદ ઊર્જા મુક્ત થાય છે. કોષીય શ્વસનની પ્રારંભિક પ્રક્રિયા કોષરસમાં થાય છે. પ્રત્યેક ગ્લુકોઝના અણુ ઉત્સેચક ઉત્તેજીત કરીને શૃંખલા મય પ્રક્રિયાઓ દ્વારા પાયરૂવિક ઍસિડના 2 અણુઓમાં વિઘટન થાય છે. આ પ્રક્રિયાને ગ્લાયકોલીસીસ કહે છે. પાયરૂવેટનું ભવિષ્ય O_2ની હાજરી અને સજીવ પર નિર્ભર હોય છે. અજારક પરિસ્થિતિઓમાં આથવણ દ્વારા લેક્ટિક ઍસિડ કે આલ્કોહોલ બને છે. આથવણ ઘણા બધા પ્રોકેરિયોટિક, એક કોષીય યુકેરિયોટિક તેમજ અંકુરિત બીજમાં અજારક પરિસ્થિતિઓમાં થાય છે. યુકેરિયોટ સજીવોમાં O_2ની હાજરીમાં જારક શ્વસન થાય છે. પાયરૂવિક ઍસિડનું કણાભસૂત્રોમાં વહન થયા પછી ઍસિટાઇલ CoAમાં રૂપાંતરણ થાય છે, તેની સાથે CO_2 મુક્ત કરે છે. ત્યારબાદ ઍસિટાઇલ CoA, TCA પરિપથ અથવા ક્રેબ્સ ચક્રમાં પ્રવેશ કરે છે. જે કણાભસૂત્રના આધારકમાં થાય છે. ક્રેબ્સ ચક્રમાં NADH + H^+ અને $FADH_2$ બને છે. આ અણુઓ તેમજ NADH + H^+ જે ગ્લાયકોલીસીસ દરમિયાન બને છે. તેની ઊર્જાનો ઉપયોગ ATPના સંશ્લેષણમાં થાય છે. આ પ્રક્રિયા કણાભસૂત્રના અંતઃ પટલમાં આવેલા ઇલેક્ટ્રૉન વાહકોના તંત્ર દ્વારા થાય છે. જેને ઇલેક્ટ્રોન પરિવહન તંત્ર કહે છે, અને આ પ્રક્રિયા ઑક્સિડેટિવ ફૉસ્ફોરાયલેશન કહે છે, આ પ્રક્રિયાને અંતે અંતિમ ઇલેક્ટ્રૉન ગ્રાહી O_2 હોય છે, જે પાણીનું રિડક્શન દર્શાવે છે.

શ્વસન પરિપથમાં ચય અથવા અપચય બંને ક્રિયાઓ ભાગ લે છે. જેથી તેને ઉભયધર્મી પરિપથ કહે છે. શ્વસનાંક શ્વસન દરમિયાન શ્વાસ્થ પદાર્થો પર નિર્ભર કરે છે.

સ્વાધ્યાય

1. તફાવત આપો :
   (a) શ્વસન અને દહન
   (b) ગ્લયકોલીસીસ અને કેબ્સ ચક્ર
   (c) જારક શ્વસન અને આથવણ
2. શ્વાસ્થ પદાર્થ શું છે ? સૌથી સામાન્ય શ્વાસ્ય પદાર્થનું નામ આપો.
3. ગ્લાયકોલીસીસનો ચાર્ટ આપો.
4. જારક શ્વસનના મુખ્ય તબક્કા કયા કયા છે ? તે ક્યાં થાય છે ?
5. કેબ્સ ચક્રનો સંપૂર્ણ ચાર્ટ દર્શાવો.
6. ઈલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્રનું વર્ણન કરો.
7. તફાવત આપો / ભેદ આપો :
   (a) જારક શ્વસન અને અજારક શ્વસન
   (b) ગ્લાયકોલીસીસ અને આથવણ
   (c) ગ્લાયકોલીસીસ અને સાઇટ્રિક ઍસિડ ચક્ર
8. શુદ્ધ ATPના અણુઓની પ્રાપ્તિની ગણતરી દરમિયાન તમે શું કલ્પનાઓ કરો છો ?
9. 'શ્વસન પરિપથ એક ઉભયધર્મી પરિપથ છે.' તેની ચર્ચા કરો.
10. શ્વસનાંકની વ્યાખ્યા આપો. ચરબી માટેનું તેનું મૂલ્ય શું છે ?
11. ઑક્સિડેટિવ ફૉસ્ફોરાયલેશન શું છે ?
12. શ્વસનમાં પ્રત્યેક તબક્કાવાર મુક્ત ઊર્જાનું મહત્ત્વ શું છે ?