அலகு
8

உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்றம்

ஆல்பர்ட் லெஸ்டர் லெஹன்கர் மற்றும் யூஜீன் பேட்ரிக் கென்னடி

ஆல்பர்ட்லெஸ்டர் லெஹன்கர் என்பவர் அமெரிக்காவின் உயிர் ஆற்றலியலை சார்ந்த ஒரு உயிர்வேதியியல் அறிஞர் ஆவார். அவர் மூலக்கூறு அளவிலான வளர்ச்சிதை மாற்றத்திற்கு தற்கால அடிப்படை புரிதலுக்கான தனது ஆய்வினை அளித்தார். 1948 இவர் யூஜீன் பாட்ரிக்வுடன் (அமெரிக்காவைச் சார்ந்த சவ்வின் செயல்பாடு மற்றும் லிப்பிடு செயல் வழிமுறை அறிதலுக்கு பெயர் பெற்ற உயிர் வேதியியல் அறிஞர்) இணைந்து யூகாரியோட்டிலுள்ள மைட்டோகாண்ட்ரியாவில் ஆக்சிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றம் நடைபெறுகின்றதென கண்டறிந்தார். இது ஆற்றல் பரிமாற்றத்திற்கான புதிய முயற்சியாக அமைந்தது.

2VRAXV

கற்றலின் நோக்கங்கள்:

இந்த பாடப்பிரிவை கற்றறிந்த பின்னர், மாணவர்கள் கீழ்க்கண்டவற்றை புரிந்துகொள்ள முடியும்

- செல் சுவாசம் மற்றும் செல்கள் எவ்வாறு ATP மூலக்கூறுகளை உருவாக்குகின்றன என்பதை விளக்குதல்,
- ஆக்ஸிஜனேற்ற – ஒடுக்க வினைகள் மற்றும் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்தம் ஆகியவற்றின் அடிப்படையை புரிந்துகொள்ளுதல்,
- மைட்டோகாண்டிரியாவின் உள்ளமைப்பை விளக்குதல்,
- எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியின் கூறுகளை புரிந்து கொள்ளுதல்,
- எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலி தடுப்பான்களைப் பற்றி விளக்குதல்,
- ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தின் அடிப்படையை புரிந்து கொள்ளுதல்,
- ATP தொகுப்பு மற்றும் ATP தொகுப்பின் வழிமுறையை விளக்குதல்,
- ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்ற இணைதடுப்பான்கள் பற்றி விளக்குதல்.

XII U8 Biological oxidation.indd 196 4/21/2020 9:59:22 AM

பாட அறிமுகம்

உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்றம் பற்றிய ஆராய்ச்சியாளர்களில் முன்னோடியாக திகழ்ந்தவர் லவாய்சியர் ஆவார். இவர் நவீன வேதியியலின் தந்தை என அறியப்படுகிறார். காற்றில்லா சுவாச உயிரிகளை ஒப்பிடும்போது காற்று சுவாச உயிரிகள் ஆக்ஸிஜனை உட்கொண்டு கார்பன் டை ஆக்சைடையும், அளவிலா ஆற்றலையும் உற்பத்தி செய்கின்றன என்பதை லவாய்சியர் 1789 ஆம் ஆண்டில் செய்துகாட்டினார் .

காற்று சுவாச உயிரிகள் குளுக்கோஸ் மற்றும் கொழுப்பு அமிலங்களின் ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின் மூலம் இதை நிகழ்த்துகின்றன. ஆக்ஸிஜன் ஒரு வினைத்திறன் மிக்க மூலக்கூறாகும், அதனால் அதன் பயன்பாடு முறைப்படுத்தப்பட்டது. ஆக்ஸிஜனின் பொருத்தமற்ற பயன்பாட்டினால் நச்சுத் தன்மை கொண்ட விளைபொருட்கள் திரள்கின்றன, மேலும் காற்று சுவாச உயிரிகள், ஆக்ஸிஜனின் தீங்கு விளைவிக்கும் விளைவுகளிலிருந்து தங்களை காப்பாற்றிக்கொள்ள, பல்வேறு வழிமுறைகளை கையாள்கின்றன. சூப்பர் ஆக்ஸைடு டிஸ்மியுட்டேஸ் மற்றும் கேட்டலேஸ் போன்ற எதிராக்ஸிஜனேற்ற நொதிகள், ஆக்ஸிஜனேற்ற சிதைவிலிருந்து செல்களை பாதுகாக்கின்றன. எனினும், இதற்கு மாறாக, ஆக்ஸிஜன் வளர்சிதைமாற்றப் பொருட்கள் சில நேரங்களில் எதிர் ஆக்ஸிஜனேற்ற வழிமுறையை தகர்த்து, உயிருள்ள செல்களை சிதைக்கின்றன. ஆக்ஸிஜனின் வளர்சிதைமாற்றப் பொருட்களினால் புற்றுநோய், நரம்பியல் சீரழிவு, நீரிழிவு நோய் போன்ற உயிர்க்கொல்லி நோய்கள் உருவாகின்றன என அறியப்பட்டுள்ளது.

காற்று சுவாச உயிரிகளின் செல்கள் மிகவும் சிக்கலானவை. அவை, ஆயிரக்கணக்கான சிறிய மூலக்கூறுகளால் ஆன மூலக்கூறு இயந்திரங்களாக ஒழுங்கமைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த மூலக்கூறு இயந்திரங்கள் புரதங்களால் ஆனவை, இவை நியுக்ளியோடைடுகளிலுள்ள பிணைப்பு வேதி ஆற்றலை பயன்படுத்தி ஆற்றலைப் பெறுகின்றன. குறிப்பிட்ட திசையமைவில், அடினோசின் ட்ரை பாஸ்பேட் (ATP) மூலக்கூறுடன் பிணையும் வகையில் மூலக்கூறு இயந்திரமானது வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது. காற்று சுவாசம் மேற்கொள்ளும் யூகேரியோட்டிக் செல்கள் பல்வேறு மூலக்கூறு இயந்திரங்களை கொண்டுள்ளன. உயர்நிலை உயிரிகள் சுவாசத்திற்காக ஆக்ஸிஜனை நம்பியுள்ளன. இவ்வுயிரிகளின் சுவாச செயல்முறையில், செல்கள் ஆற்றலை ATP வடிவில் உருவாக்குகின்றன.

ஆக்ஸிஜனேஸ்கள் என்றழைக்கப்படும் நொதிகளால் உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்ற வினைகள் வினையூக்கம் பெறுகின்றன என்பதை ஓட்டோ வார்பெர்க் எனும் அறிவியலாளர் செய்து காட்டினார். பல்செயற் ஆக்ஸிடேஸ்கள் (சைட்டோகுரோம் P450 அமைப்பு) எனும் சிறப்பு வகை நொதிகளினால், பல்வேறு மருந்து மற்றும் நச்சுத் தன்மை கொண்ட பொருட்கள் வளர்சிதை மாற்றத்திற்கு உட்படுத்தப்படுகின்றன.

குளுக்கோஸிலிருந்து ஆற்றலை பெறும் நிகழ்வு மூன்று படிநிலைகளில் நிகழ்கிறது. (1) கிளைக்காலைசிஸ் (குளுக்கோஸ், இரண்டு பைருவேட் மூலக்கூறுகளாக சிதைதல்), (2) சிட்ரிக் அமில சுழற்சி (குளுக்கோஸ் சிதைவடைதலை முடித்து வைக்கிறது) (3) ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றம் (பெரும்பாலான ATP தொகுப்பிற்கு காரணமாகிறது).

8.2 ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினை

உயிரியல் எலக்ட்ரான் இடப்பெயர்ச்சி என்பது ஆக்ஸிஜனேற்ற மற்றும் ஒடுக்க வினைகள் இணைந்த சங்கிலித்தொடராகும். மூலக்கூறு ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின் போது எலக்ட்ரான்கள் இழக்கப்படுகின்றன. ஒடுக்கத்தின்போது எலக்ட்ரான்கள் ஏற்கப்படுகின்றன.

XII U8 Biological oxidation.indd 197 4/21/2020 9:59:23 AM

ஒடுக்கமடைந்த சேர்மம் (e^- வழங்கி) $\rightleftharpoons$ ஆக்ஸிஜனேற்றமடைந்த சேர்மம் + e^-

எடுத்துக்காட்டு : $Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe^{2+} + e^-$

ஒரு முழுமையான ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினையில், எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொண்டு ஒடுக்கமடையும் ஒரு வினைப்பொருள் இருத்தல் அவசியம். எலக்ட்ரானை வழங்கும் வினைப்பொருளானது ஒடுக்கி எனப்படுகிறது. எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொள்ளும் பொருள் ஆக்ஸிஜனேற்றி எனப்படுகிறது. ஆக்ஸிஜனேற்றிக்கு எலக்ட்ரானை வழங்கும்போது ஒடுக்கி ஆக்ஸிஜனேற்றமடைகிறது.

ஒடுக்கி + ஆக்ஸிஜனேற்றி $\rightleftharpoons$ ஆக்ஸிஜனேற்றமடைந்த ஒடுக்கி + ஒடுக்கமடைந்த ஆக்ஸிஜனேற்றி

எடுத்துக்காட்டு : இரும்பினால் ஆக்ஸிஜனேற்றமடைந்த காப்பர்

$$Cu^{+} + Fe^{3+} \rightleftharpoons Cu^{2+} + Fe^{2+}$$

ஒரு வேதிவினையின்போது எலக்ட்ரான்களை ஆக்கவோ, அழிக்கவோ முடியாது. எனவே, ஒரு வேதிவினையில் ஒரு மூலக்கூறு ஆக்ஸிஜனேற்றமடையும்போது மற்றொரு மூலக்கூறு கட்டாயமாக ஒடுக்கமடைய வேண்டும். இத்தகைய வினைகள் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினைகள் எனப்படுகின்றன. பின்வரும் வினையில் குளுக்கோஸ் மூலக்கூறு முழுமையாக ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையும் வினை விளக்கப்பட்டுள்ளது.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O \quad \Delta G°' = -2823\ kJ.mol^{-1}$$

மேற்கண்ட வினையை இரண்டு அரை வினைகளாக எழுத முடியும். முதல் அரை வினையில், குளுக்கோஸிலுள்ள கார்பன் அணுக்கள் பின்வருமாறு ஆக்ஸிஜனேற்றமடைகின்றன.

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \longrightarrow 6CO_2 + 24H^{+} + 24e^{-}$$

இரண்டாம் அரை வினையில், மூலக்கூறு ஆக்ஸிஜன் ஒடுக்கமடைகிறது.

$$6O_2 + 24H^{+} + 24e^{-} \longrightarrow 12H_2O$$

உயிரினங்களில்,ஒருங்கிணைக்கப்பட்ட,பலபடிகளைக்கொண்டவழிமுறையில்,வெளிவிடப்படும் கட்டிலா ஆற்றலை ATP வடிவில் சேமிக்கும் வகையில் இவ்விரு அரை வினைகளும் நிகழ்கின்றன. மேற்கண்ட வினையில் ஈடுபடும் எலக்ட்ரான்கள் நேரடியாக ஆக்ஸிஜனுக்கு மாற்றப்படுவதில்லை, ஆனால், துணைநொதிகளான NAD^{+} மற்றும் FAD ஆகியவற்றிலிருந்து 10NADH மற்றும் $2FADH_2$ ஆகியவற்றை உருவாக்குவதற்காக இந்த கடத்துதல் செயல்முறை நிகழ்கிறது. மேலும் இது, கிளிசரால்டிஹைடு 3 பாஸ்பேட் டிஹைட்ரஜனேஸ், பைருவேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் போன்ற பல்வேறு கிளைக்காலிக் நொதிகள் மற்றும் ஐசோசிட்ரேட் டிஹைட்ரஜனேஸ், α– கீட்டோகுளுட்டரேட் டிஹைட்ரஜனேஸ், சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் மற்றும் மேலேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் போன்ற சிட்ரிக் அமில சுழற்சி நொதிகளின் மூலமாக நிகழ்த்தப்படுகிறது.

தொடர்ச்சியான எலக்ட்ரான் ஏந்திகளின் உதவியுடன், NADH மற்றும் $FADH_2$ ஆகியவற்றிலிருந்து O_2 விற்கு படிப்படியாக எலக்ட்ரான்கள் கடத்துப்படுதலும், மைட்டோகாண்ட்ரியா உட்சவ்விற்கு குறுக்காக அமைந்துள்ள மேட்ரிக்ஸ் பகுதியிலிருந்து சவ்விடைப் பகுதிக்கு புரோட்டான்களும் கடத்தப்படுதலும் இணைந்தே நிகழ்கின்றன. pH வேறுபாட்டினால்

XII U8 Biological oxidation.indd 198 4/21/2020 9:59:23 AM

உருவான கட்டிலா ஆற்றல் சேமிப்பானது ADP லிருந்து ATP தொகுப்பையும், ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தின் மூலமாக Pi உருவாக்கத்தையும் நிகழ்த்துகிறது.

8.2.1 ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்தம்

பொதுவாக எலக்ட்ரான்கள் மீதான ஒரு பொருளின் கவர்திறனை அதன் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்தம் E காட்டுகிறது. இது ஹைட்ரஜனுடன் ஒப்பீட்டு மதிப்பாக கணக்கிடப்படுகிறது. கருத்தியலாக, ஒரு பொருளின் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்தம் நேர்க்குறி மதிப்பை பெற்றிருந்தால் அப்பொருளின் எலக்ட்ரான்கள் மீதான கவர்ச்சியானது, ஹைட்ரஜனின் கவர்ச்சியைவிட அதிகம் என பொருள் கொள்ளலாம். மேலும், அப்பொருள் ஹைட்ரஜனிடமிருந்து எலக்ட்ரானை பெற்றுக்கொள்ளும் எனவும் எதிர்பார்க்கப்படுகிறது. ஒரு பொருளின் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்தம் எதிர்க்குறி மதிப்பை பெற்றிருந்தால், அப்பொருளின் எலக்ட்ரான்கள் மீதான கவர்ச்சி ஹைட்ரஜனைவிட குறைவு. மேலும், அது H^+ அயனிகளுக்கு, எலக்ட்ரான்களை வழங்கி ஹைட்ரஜனை உருவாக்குகிறது. ஹைட்ரஜனைவிட அதிக எலக்ட்ரான் கவர்திறன் கொண்ட எந்த ஒரு அணு அல்லது மூலக்கூறுக்கும் நேர்க்குறி (+)ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்தமும், குறைந்த எலக்ட்ரான் கவர்திறன் கொண்டவற்றிற்கு எதிர்க்குறி (–) ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்தமும் ஒதுக்கப்படுகிறது. இரண்டு பொருட்களின் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்த வேறுபாடு (ΔE) அதிகமாக இருப்பின் குறைந்த நேர்மின்தன்மை கொண்ட பொருளிலிருந்து அதிக நேர்மின்தன்மை கொண்ட பொருளுக்கு எலக்ட்ரான்கள் தன்னிச்சையாக பாய்கின்றன. ΔE மதிப்பானது வோல்ட் (volts) அலகில் எழுதப்படுகிறது.

pH 7 எனும் திட்ட நிலையில் ஏற்படும் கட்டிலா ஆற்றல் மாற்றம் $\Delta G°$ என குறிப்பிடப்படுகிறது. வினைப்பொருள் மற்றும் விளைப்பொருட்களின் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க மின்னழுத்த மாற்றங்களிலிருந்து (ΔE^o) திட்ட கட்டிலா ஆற்றல் மாற்றத்தை கணக்கிட முடியும். இங்கு n என்பது ஒரு மோல் வினைபொருளினால் மாற்றப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை குறிப்பிடுகிறது. ΔE^0 மதிப்பு வோல்ட் (V) அலகிலும் ΔG^0 மதிப்பு கிலோகலோரி மோல்$^{-1}$ (kcal mol^{-1}) அலகிலும் குறிப்பிடப்படுகின்றன. F என்பது ஃபாரடே மாறிலி (96,494 கூலூம்). வினையின் திட்ட கட்டிலா ஆற்றல் மதிப்பு $\Delta G^{o\prime} = -nF\Delta E^o$.

8.3 எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலி

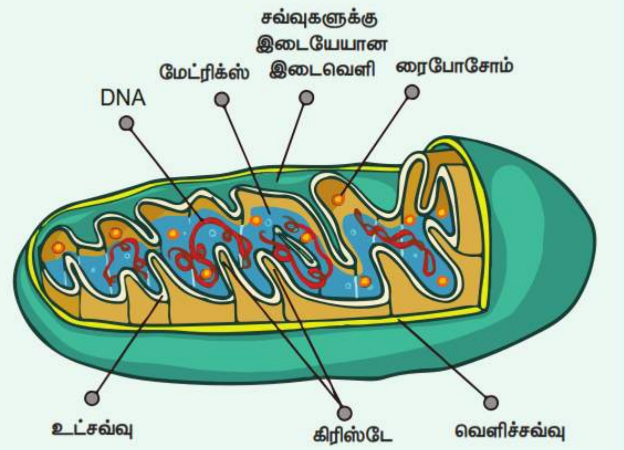
உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்றம் மற்றும் எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியை புரிந்து கொள்வதற்கு, ஆக்ஸிஜனேற்ற– ஒடுக்கம் மற்றும் மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உயிரியல் ஆகியவற்றை புரிந்து கொள்ளுதல் மிக அவசியம். யூகேரியோட் செல்களில், செல்லின் முக்கிய பகுதிகளில் செல் வளர்சிதை மாற்றம் நிகழ்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக, கிளைக்காலைசிஸ் சைட்டோசால்களில் நிகழ்கிறது, ஆனால் பைருவேட்டின் ஆக்ஸிஜனேற்றம், கொழுப்பு அமிலங்களின் β ஆக்ஸிஜனேற்றம், சிட்ரிக் அமில சுழற்சி ஆகியன மைட்டோகாண்டிரியா மேட்ரிக்ஸ் பகுதியில் (mitochondrial matrix) நிகழ்கிறது.

மைட்டோகாண்டிரியாவின் எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலி (ETC) ஒரு சிக்கலான அமைப்பாகும், இதில் எலக்ட்ரான் மீதான நாட்டத்தின் ஏறுவரிசையில் எலக்ட்ரான் ஏந்திகள், மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உட்சவ்வில் தொடர்ச்சியாக அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அவை ஒடுக்கப்பட்ட நொதிகளிலிருந்து ஆக்ஸிஜனுக்கு எலக்ட்ரான்களை மாற்றுகின்றன.

8.3.1 மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உள்ளமைப்பு

மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உருவளவு பாக்டீரியத்தின் உருவளவுக்கு ஏறக்குறைய சமமாக உள்ளது. (1 முதல் 2μm வரை). பரிணாம வளர்ச்சியின் ஆரம்பகட்டத்தில் மைட்டோகாண்ட்ரியாவானது காற்று சுவாச பாக்டீரியாவிலிருந்து உருவானதாக நம்பப்படுகிறது. இவை ஆரம்ப கால காற்றில்ல சுவாச யூகேரியோட்களின் இணைந்து கூட்டுவாழ்வினுள் (symbiosis) நுழைந்தன. இந்நிகழ்வானது உள்ளுறை கூட்டுயிராதல் அல்லது எண்டோசிம்பயோசிஸ் (endosymbiosis) என அறியப்படுகிறது.

மைட்டோகாண்ட்ரியா இரண்டு சவ்வுகளைக் கொண்டுள்ளது. மிருதுவான வெளிச்சவ்வு மற்றும் ஒரு உட்சவ்வு. உட்சவ்வானது கிரிஸ்டே எனப்படும் எண்ணிக்கையில்லா மடிப்பு நீட்சிகளை உருவாக்குகிறது. இந்த நீட்சிகள் மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உள்நோக்கியும், மேட்ரிக்ஸை சூழ்ந்தும் அமைந்துள்ளன (படம்.8.1). சுவாச புரதங்கள் உட்சவ்வில் பொதிந்துள்ளதால், கிரிஸ்டேவின் அடர்த்தியானது செல்லின் சுவாச செயல்முறையுடன் தொடர்புபடுத்தப்பட்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, கல்லீரலுடன் ஒப்பிடும்போது, கடினமான ஆக்ஸிஜனேற்ற வளர்சிதைமாற்றத்தைக் கொண்டுள்ள இதய தசைகள் அதிக எண்ணிக்கையிலான மைட்டோகாண்ட்ரியாக்களை பெற்றுள்ளன. செல்லின் செயல்பாட்டுநிலையைப் பொருத்து, ஒரே வகையான செல்களில் கூட மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் வடிமைப்பு மாறுகிறது.



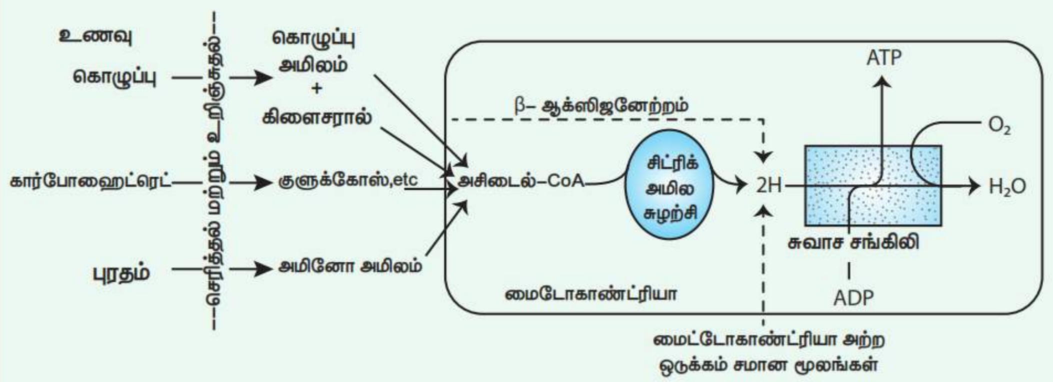
படம் 8.1 மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உள்ளமைப்பு

மைட்டோகாண்ட்ரியா சவ்வுகள் புரதங்களால் ஆனவை, சைட்டோபிளாசம் மற்றும் உட்சவ்வு இடைவெளி ஆகியவற்றிற்கிடையே சிறிய மூலக்கூறுகள் பரிமாற்றப்படுதலை மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் வெளிச்சவ்விலுள்ள போரின்கள் (Porins) அனுமதிக்கின்றன. எனினும், மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உட்சவ்வானது ஆக்ஸிஜன், கார்பன் டை ஆக்சைடு மற்றும் நீர் மூலக்கூறுகளைத் தவிர மற்ற சிறிய மூலக்கூறுகளை அனுமதிப்பதில்லை. மைட்டோகாண்ட்ரியா வளர்சிதைமாற்ற வினைப்பொருட்களும், அவற்றின் விளைபொருட்களும், சிறப்புத் தன்மைவாய்ந்த கடத்திகளின் மூலமாக உட்சவ்வின் வழியாக நகர்த்தப்படுகின்றன. மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உட்சவ்வினுள் பொதிந்துள்ள சைட்டோகுரோம் போன்ற புரதத் தாங்கிகள் கடத்திகளாக செயல்படுகின்றன.

சுவாச சங்கிலியானது, பல புரதங்களாலான அணைவுகளாக அமைக்கப்படுகிறது. ATP சிந்தடேஸ் மற்றும் பல நொதிகள் சவ்விடைப்பகுதியில் காணப்படுகின்றன. உட்சவ்வானது ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தில் முக்கிய பங்காற்றுகிறது. மைட்டோகாண்ட்ரியா மேட்ரிக்ஸ் ஆனது ஜெல் போன்று காணப்படுகிறது.இதில் ~50% புரதம் உள்ளது. பைருவேட் ஆக்ஸிஜனேற்றத்தில் ஈடுபடும் நொதிகள், அமினோ அமிலங்கள், கொழுப்பு அமிலங்கள், TCA சுற்று, NAD^+, FAD, ADP மற்றும் Pi ஆகியவை இந்த மேட்ரிக்ஸில் காணப்படுகின்றன.

XII U8 Biological oxidation.indd 200 4/21/2020 9:59:24 AM

கார்போஹைட்ரேட் மற்றும் உணவை ஆக்சிஜனேற்றம் அடையச் செய்யும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலானது, மைட்டோகாண்ட்ரியாவில் ஒடுக்கும் தன்மையுள்ள சமானங்களாக (2H) கிடைக்கிறது. இவை ஆக்ஸிஜனேற்றத்திற்காகவும், ஒருங்கிணைந்த ATP உருவாக்கத்திற்காகவும் சுவாச சங்கிலியால் சேகரிக்கப்படுகின்றன. (படம் 8.2).



படம் 8.2. உணவு செரித்தல் மற்றும் உறிஞ்சப்படுதல் மேலும் ஆற்றல் உருவாதல்

8.3.2 எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியின் பகுதிக் கூறுகள் Electron Transport Chain (ETC)

யூகேரியோட்டுகளில், மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உட்சவ்வில், நான்கு பெரிய புரத அணைவுகளாக ETC யின் பகுதிக்கூறுகள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன (படம் 8.3). இந்த அணைவுகள் பல்வேறு புரதங்களையும், இணைத்தொகுதிகளையும் கொண்டுள்ளன. இவற்றைத் தவிர, துணைநொதி Q மற்றும் சைட்டோகுரோம் c ஆகிய இரண்டு மூலக்கூறுகள் ETC யில் குறிப்பிடத்தகுந்த பங்காற்றுகின்றன.

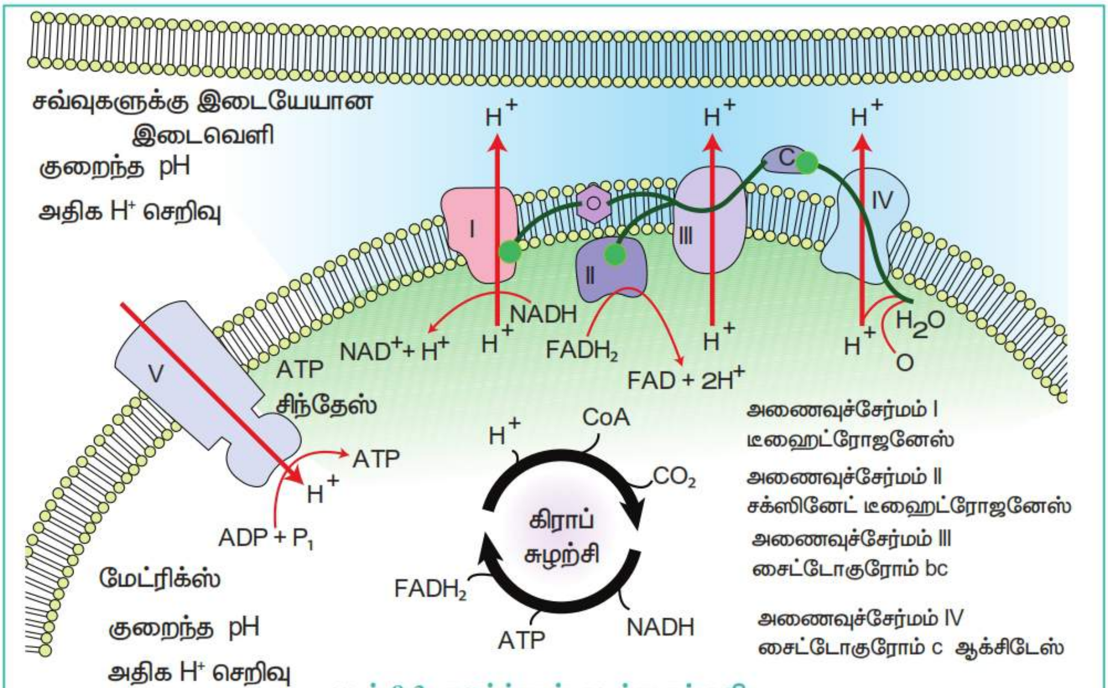
அணைவு I ஆனது NADH-துணை நொதி Q ஆக்ஸிடோரிடக்டேஸ் அல்லது NADH டிஹைட்ரஜனேஸ் எனவும் அறியப்படுகிறது. இது உயிரியல் அமைப்பு முழுவதும் பரவி இருப்பதால் NADH லிருந்து துணைநொதி Q (CoQ) அல்லது யுபிகுயினோன் (UQ) க்கு எலக்ட்ரான் கடத்தப்படும் செயல்முறைக்கு வினையூக்கியாக செயல்படுகிறது. இதில், ஒரு ஃபிளாவின் மோனோ நியுக்ளியோடைடு (FMN) மூலக்கூறும், எலக்ட்ரான் கடத்துதலில் பங்கெடுக்கும் எட்டு இரும்பு–சல்பர் திரள்களும் அடங்கியுள்ளன.

அணைவு II என்பது சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் அல்லது சக்சினேட்–துணைநொதி Q ஆக்ஸிரிடக்டேஸ் ஆகும். இது, சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸையும், மூன்று சிறிய நீர்வெறுக்கும் துணை அலகுகளையும் கொண்டுள்ளது, மேலும் சக்சினேட்டிலிருந்து CoQ க்கு எலக்ட்ரான்களை கடத்துகிறது.

அணைவு III என்பது துணைநொதி QH_2-சைட்டோகுரோம் c ஆக்ஸிடோரிடக்டேஸ் ஆகும். இது ஒடுக்கப்பட்ட CoQ லிருந்து சைட்டோகுரோம் c க்கு எலக்ட்ரான்களை கடத்துகிறது. இதில் சைட்டோகுரோம்கள் b, c1 மற்றும் ஒரு [2Fe-2S] திரள் ஆகியன அடங்கியுள்ளன.

அணைவு IV என்பது சைட்டோகுரோம் c ஆக்ஸிடேஸ் ஆகும். இது, நான்கு அடுத்தடுத்த ஒடுக்கப்பட்ட சைட்டோகுரோம் c மூலக்கூறுகளின் ஒரு எலக்ட்ரான் ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையையும், ஒரு ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறை ஒடுக்கி இரண்டு நீர் மூலக்கூறுகளை உருவாக்கும் நான்கு எலக்ட்ரான் ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையையும் ஊக்குவிக்கிறது.

XII U8 Biological oxidation.indd 201 4/21/2020 9:59:24 AM



படம் 8.3. எலக்ட்ரான் கடத்து சங்கலி

I லிருந்து IV வரையிலான அணைவுகளின் வழியாக எலக்ட்ரான்கள் பாயும் செயல்முறையின் விளைவால், மைட்டோகாண்ட்ரியா உட்சவ்விற்கு குறுக்காக அமைந்துள்ள மேட்ரிக்ஸ்களிலிருந்து சவ்விடைப் பகுதிக்கு புரோட்டான்கள் இறைக்கப்படுகின்றன. உற்பத்தி செய்யப்பட்ட புரோட்டான் இயக்க விசையானது ATP தொகுப்பிற்கு ஆற்றலை வழங்குகிறது. அணைவு V ஆனது ATP தொகுப்பிற்கு வினையூக்கம் அளிக்கிறது. அணைவு I லிருந்து அணைவு IV க்கு நகரும் ஒரு ஜோடி எலக்ட்ரான்கள் 3ATP மூலக்கூறுகளை உருவாக்குகின்றன. அதே சமயம், அணைவு II லிருந்து அணைவு IV க்கு நகரும் ஒரு ஜோடி எலக்ட்ரான்கள் 2ATP மூலக்கூறுகளை உருவாக்குகின்றன.

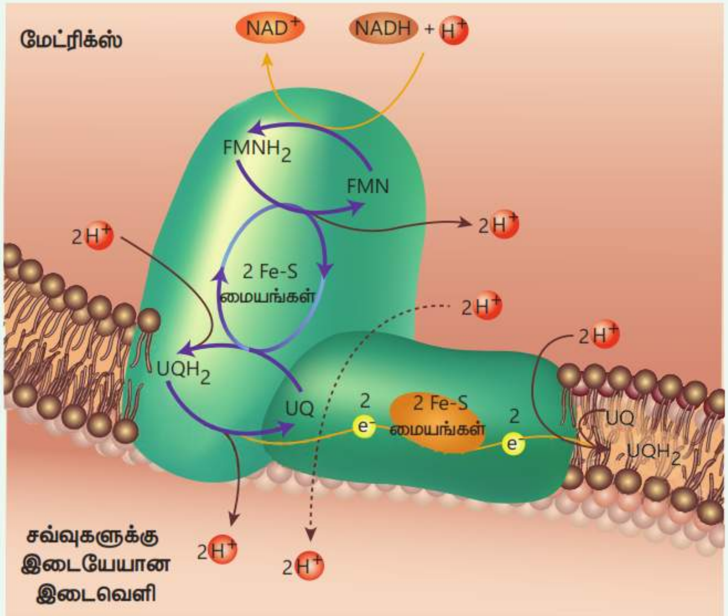
8.3.3 எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியின் வினைகள்

துணை நொதி Q ஐ தவிர சுவாச சங்கிலியின் பகுதிப்பொருட்கள் அமைத்தும் புரதங்களாகும். இந்த புரதங்கள் நொதிகளாக செயலாற்றுகின்றன, எடுத்துக்காட்டு: டிஹைட்ரஜனேஸ்கள். அல்லது அவை இரும்பு–சல்பர் மையத்தின் ஒரு பகுதியாக இரும்பைப் கொண்டிருக்கலாம். மேலும் சைட்டோகுரோம்களில் காணப்படுவதைப் போல ஃபார்பைரின் வளையத்துடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ள இரும்பைக் கொண்டிருக்கலாம். அல்லது சைட்டோகுரோம் a + a3 அணைவிலுள்ளதைப் போல காப்பரை கொண்டிருக்கலாம்.

NADH உருவாதல் : NAD^+ ஆனது டிஹைட்ரஜனேஸ்களால் NADH ஆக ஒடுக்கப்படுகிறது. இதில் வினைப்பொருளிலிருந்து இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் நீக்கப்படுகின்றன. NADH இன் முக்கிய மூலங்கள், சிட்ரிக் அமில சுழற்சி வினைகள், கொழுப்பு அமில ஆக்ஸிஜனேற்றம் போன்றவற்றை உள்ளடக்கியுள்ளன. எலக்ட்ரான்களும், ஒரு புரோட்டானும் NAD^+ க்கு மாற்றப்பட்டு NADH மற்றும் தனித்த புரோட்டான் H^+ ஆகியவை உருவாக்கப்படுகின்றன.

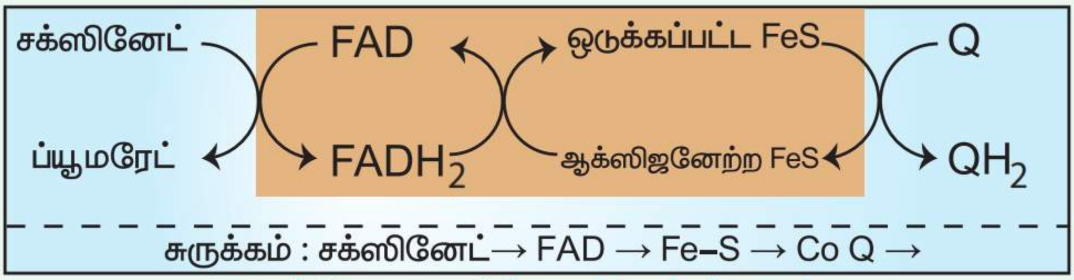
NADH டிஹைட்ரஜனேஸ்: NADH மற்றும் உருவாக்கப்பட்ட H^+ அயனிகள் ஆகியன NADH டிஹைட்ரஜனேஸிற்கு மாற்றப்படுகின்றன. இந்த அணைவு I ஆனது 46 பாலிபெப்டைடுகளை

உள்ளடக்கிய பெரிய புரதமாகும். இது மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உட்சவ்வில் புதைக்கப்பட்டு, ஃபிளாவின் மோனோ நியுக்ளியோடைடு (FMN) மூலக்கூறால் சூழப்பட்டுள்ளது. NADH டிஹைட்ரஜனேஸ், FMN ஐ $FMNH_2$ ஆக ஒடுக்குகிறது. சமமான எண்ணிக்கையிலான சல்பைடு அயனிகளுடன் பிணைந்துள்ள இரும்பு அணுக்களை கொண்டுள்ள இரும்பு சல்பர் மையத்திற்கு இரண்டு எலக்ட்ரான்களை மாற்றும் தொடர் நிகழ்வானது சவ்விடைப் பகுதியினுள் நான்கு புரோட்டான்களை வெளியிடுகிறது. (படம்.8.4). NADH லிருந்து உயர் ஆற்றல் எலக்ட்ரான்களை பெறுவதற்காக, NADH டிஹைட்ரஜனேஸ் சிக்கலான செயல்முறைகளை மேற்கொள்கிறது. எலக்ட்ரான் நகர்வைப் பயன்படுத்தி, உட்சவ்வுப் பகுதிக்கு ஹைட்ரஜன் அயனிகளை இடம் மாற்றும் புரோட்டான் இறைப்பியாக இது செயல்படுகிறது. சங்கிலியின் அடுத்த பகுதிக்கும், துணைநொதி Q க்கும் ஹைட்ரஜன்களை கடத்துவதற்கு இந்த திரள்கள் இன்றியமையாதவைகளாக உள்ளன.



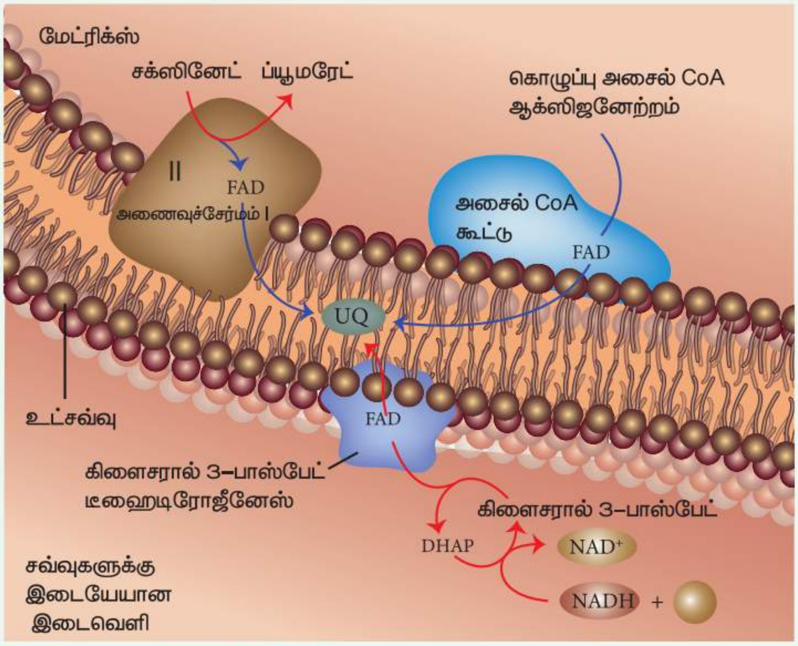
படம் 8.4 டிஹைட்ரஜனேஸ் அணைவு

சக்சினேட் ரிடக்டேஸ் அணைவு: இந்த அணைவு II ஆனது சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் நொதியை கொண்டுள்ளது. மேலும், இது TCA சுற்றில் சக்சினேட்டை ஃபியூமரேட்டாக மாற்றுவதிலும், $FADH_2$ உருவாக்க செயல்முறையிலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. உருவாக்கப்பட்ட $FADH_2$ ஆனது அணைவிலேயே தங்கி, தொடர்ச்சியான Fe-S திரள்களுக்கு இரண்டு எலக்டான்களை வழங்குகிறது. இந்த எலக்ட்ரான்கள் யுபிகுயினோனுக்கு கடத்தப்படுகின்றன. (படம் 8.5). இந்த அணைவானது புரோட்டான் இறைப்பியாக செயல்படுவதில்லை. மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் மேட்ரிக்ஸ்களிலிருந்து சவ்வின் வழியாக சவ்விடைவெளிக்கு ஹைட்ரஜன் அயனிகளை தள்ளுவதில்லை.



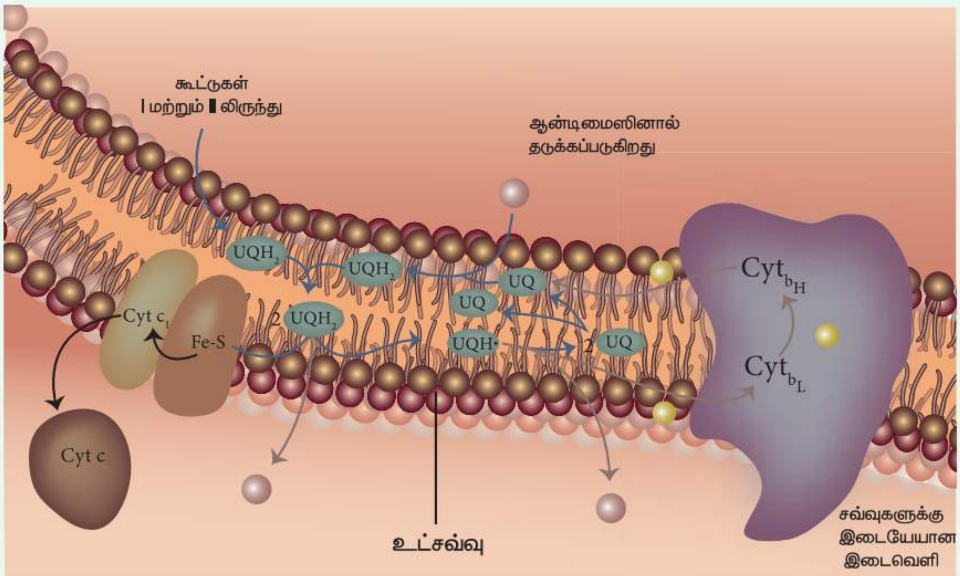
படம் 8.5 அணைவு IIல் நடைப்பெறும் வினைகள்

துணைநொதி Q : அணைவு II இல் உள்ள சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் அணைவானது TCA சுற்று நொதியான சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸையும், இரண்டு இரும்பு–சல்பர் மையங்களையும் கொண்டுள்ளது. அணைவு II இல், இரும்பு–சல்பர் மையங்களின் வழியாக சக்சினேட்டிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் துணைநொதி Q(UQ) க்கு கடத்தப்படுகின்றன. CoQ ஆனது NADH டிஹைட்ரஜனேஸிலுள்ள (அணைவு I) $FMNH_2$ விடமிருந்தும், சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸிலுள்ள (Complex II) $FADH_2$ விடமிருந்தும் ஹைட்ரஜன் அணுக்களை பெற்றுக்கொள்ள முடியும். மேலும், சைட்டோபிளாச NADH லிருந்து பெறப்படும் எலக்ட்ரான்களும், யுபிகுயினோனுக்கு கிளிசரால் 3 பாஸ்பேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் மற்றும் அசைல் CoA டிஹைட்ரஜனேஸ் வழியாக கடத்தப்படுகின்றன (படம் 8.6).



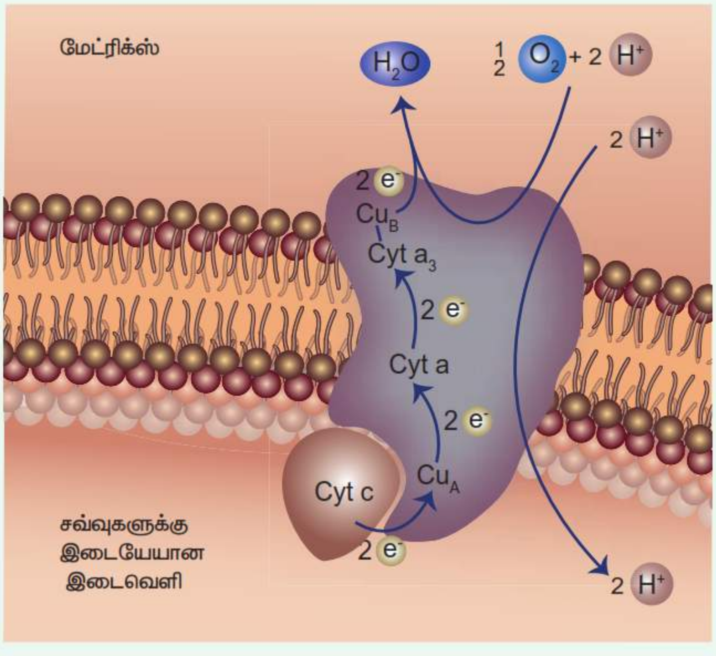
படம் 8.6 சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் அணைவு

சைட்டோகுரோம் ரிடக்டேஸ்: அணைவு III ன் வழியாக ஒடுக்கப்பட்ட யுபிகுயினோனிலிருந்து (UQH_2) சைட்டோகுரோம் c க்கு எலக்ட்ரான்கள் நகருகின்றன. சைட்டோகுரோம்கள் என்பவை ஹீம் இணைத்தொகுதியுடன் இணைந்த புரதங்களாகும். அனைத்து சைட்டோகுரோம்களும் எலக்ட்ரான் ஏந்திகளாக செயலாற்றும் திறனைப் பெற்றுள்ளன. எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொண்ட உடன், ஹீம் தொகுதியிலுள்ள இரும்பு Fe^{3+} நிலையிலிருந்து Fe^{2+} நிலைக்கு மாறுகிறது. UQH_2 லிருந்து சைட்டோகுரோம் c க்கு எலக்ட்ரான் மாற்றப்படும் வழிமுறையானது மிகவும் சிக்கலானது. படம் 8.7 இல் காட்டியுள்ளவாறு, UQH_2 பலபடிகளில் UQ ஆக ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைகிறது. ரீஸ்கே Fe-S புரதம் / cyt c1 வழியாக ஒரு எலக்ட்ரான் சைட்டோகுரோம் c க்கு மாற்றப்படுகிறது. இரண்டாவது எலக்ட்ரான் Cyt b க்கு மாற்றப்படுகிறது. உருவாக்கப்பட்ட இரண்டு UQ மூலக்கூறுகளில் ஒன்று மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் மேட்ரிக்ஸ்களுக்குள் ஊடுருவுகிறது, அங்கு அவை ஒடுக்கப்பட்டு UQH_2 உருவாகிறது. இவ்வாறு உருவான UQH_2 அதன் ஆக்ஸிஜனேற்ற மையத்திற்குள் ஊடுருவி அணைவுகள் I மற்றும் II லிருந்து உருவான UQH_2 தேக்கத்தில் சென்று இணைகிறது. இச்செயல்முறையின்போது, சவ்விடைப் பகுதியினுள் 2H அணுக்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன.



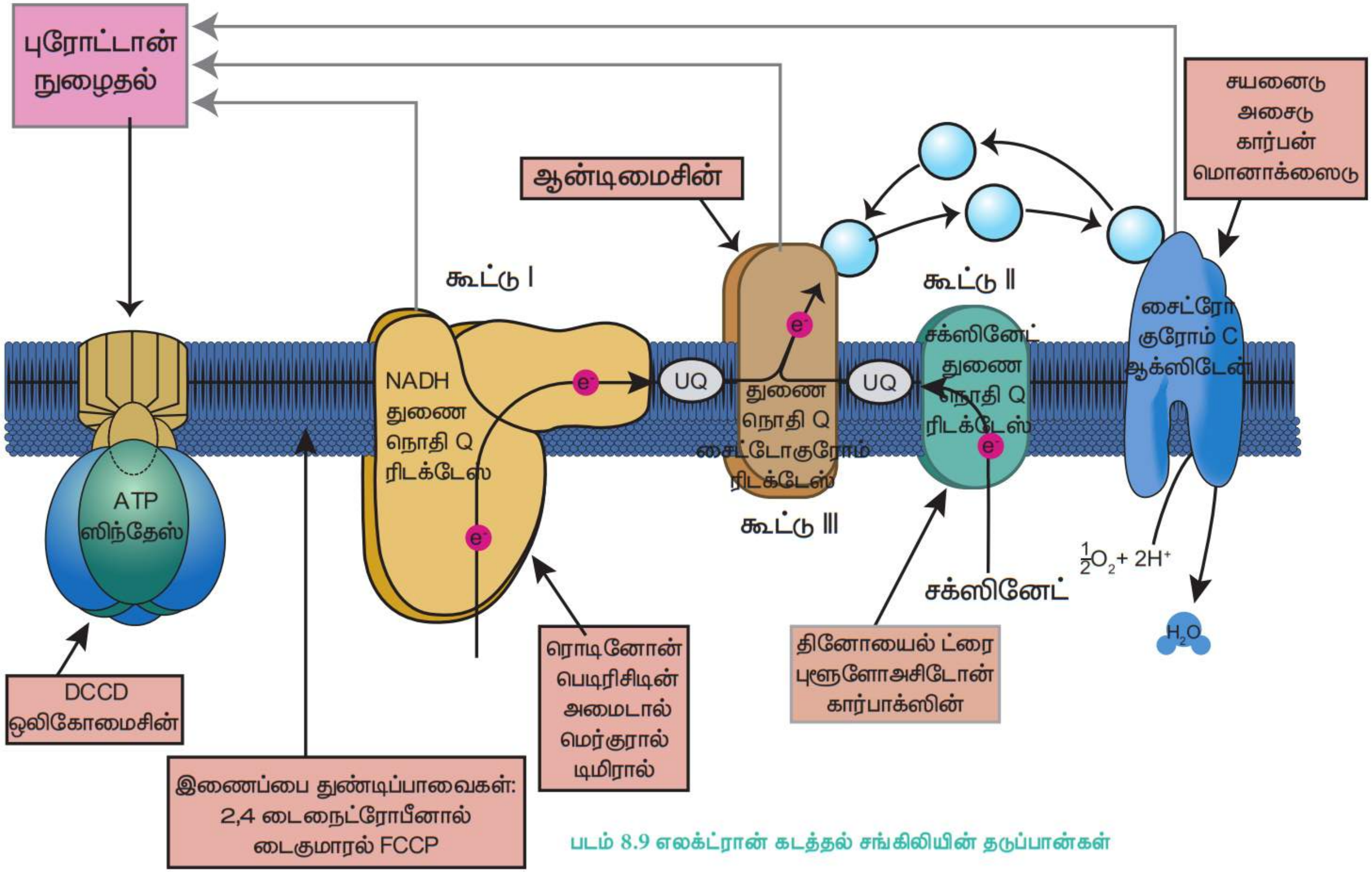
படம் 8.7 அணைவு IIIல் நடைபெறும் வினைகள்

சைட்டோகுரோம் c ஆக்ஸிடேஸ்: அணைவு IV இல் உள்ள சைட்டோகுரோம் c ஆக்ஸிடேஸ் ஆனது நான்கு அடுத்தடுத்த ஒடுக்கப்பட்ட சைட்டோகுரோம் c மூலக்கூறுகளின் ஒரு எலக்ட்ரான் ஆக்ஸிஜனேற்ற வினைக்கும், உடன்நிகழும் ஒரு ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறின் நான்கு எலக்ட்ரான் ஒடுக்க வினைக்கும் வினையூக்கியாக செயல்படுகிறது. சைட்டோகுரோம் c ஆக்ஸிடேஸ் ஆனது இரண்டு சைட்டோகுரோம்களை (a மற்றும் b) கொண்டுள்ளது. Cyt a காப்பர் அணுவுடன் இணைந்துள்ளது, CuA மற்றும் Cyt a_3 ஆகியன முறையே மற்றொரு காப்பர் அணு மற்றும் CuB உடன் இணைந்துள்ளது. ஒவ்வொரு ஒடுக்கப்பட்ட Cytc மூலக்கூறும், ஒரு நேரத்தில் ஒரு எலக்ட்ரான் வீதம் CuA க்கு வழங்குகிறது. இதைத் தொடர்ந்து எலக்ட்ரான்கள் Cyta, Cyta$_3$, CuB ஆகியவற்றிற்கு கடத்தப்படுகின்றன. Cytc லிருந்து மாற்றப்பட்ட நான்கு எலக்ட்ரான்கள், ஆக்ஸிஜனையும், நான்கு புரோட்டான்களையும் இணைத்து இரண்டு நீர் மூலக்கூறுகளாக மாற்றுகின்றன. (படம்.8.8)



படம் 8.8 அணைவு IVல் நடைபெறும் வினைகள்

XII U8 Biological oxidation.indd 205 4/21/2020 9:59:45 AM



படம் 8.9 எலக்ட்ரான் கடத்தல் சங்கிலியின் தடுப்பான்கள்

XII U8 Biological oxidation.indd 206
4/21/2020 9:59:47 AM

அணைவு எண்	அணைவின் பெயர்	பாலிபெப்டைடுகள்	இணைத் தொகுதிகள்
அணைவு I	NADH டிஹைட்ரஜனேஸ்	ஏறத்தாழ 46	FMN, Fe-S மையங்கள்
அணைவு II	சக்ஸினேட் டிஹைட்ரஜனேஸ்	2 Fe-S புரதங்கள்	FAD, Fe-S மையங்கள்
அணைவு III	சைட்டோகுரோம் b c_1 அணைவு	2 சைட்டோகுரோம்கள் 1 Fe-S புரதம் 6-8 மற்ற புரதங்கள்	b மற்றும் c வகை ஹீம்கள் (Cyt b_1, b_H, c_1) Fe-S மையங்கள்
அணைவு IV	சைட்டோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸ்	ஏறத்தாழ 13	a வகை ஹீம்கள் (Cyt a,a_3) 2 Cu

8.3.4 எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலி தடுப்பான்கள்

பல்வேறு தடுப்பான்களினால் ETC தடுக்கப்படலாம். ETC யில் சரியான பகுதியில் பிணைவதன் மூலமாக ETC தடுப்பான்கள் செயல்படுகின்றன. ஒரு ஏந்தியிலிருந்து மற்றொன்டிற்கு எலக்ட்ரான் கடத்தப்படுதலை இவை தடுக்கின்றன. ஒவ்வொரு தடுப்பானும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஏந்தியுடன் பிணைகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, ரொட்டினோன் (rotenone) மற்றும் அமிடால் (amytal) ஆகியன NADH டிஹைட்ரஜனேஸிலுள்ள அணைவு I ஐ தடுத்து NADH ஆக்ஸிஜனேற்றத்தை தடை செய்கிறது. ஆன்டிமைசின் A மற்றும் டைமெர்காப்டால் ஆகியன ETC யில் உள்ள அணைவு III ஐ தடுக்கின்றன. ஹைட்ரஜன் சல்பைடு, சயனைடு, அசைடு மற்றும் கார்பன் மோனாக்சைடு ஆகிய நச்சுப்பொருட்கள் அணைவு IV ஐ தடுக்கின்றன. ஒலிகோமைசின் என்பது ATP சிந்தடேஸ் தடுப்பானாகும். ETC யின் தடுப்பான்களை பயன்படுத்தி, சுவாச சங்கிலி குறித்த பல தகவல்கள் பெறப்பட்டன. தடுப்பான்களைப் பயன்படுத்தி ETC கூறுகளின் சரியான வரிசை நிர்ணயிக்கப்பட்டது. ஆக்ஸிஜன் மின்முனையை பயன்படுத்தி, எலக்ட்ரான் கடத்துதலின் எல்லை அளக்கப்பட்டது. இச்செயல்முறையின் போது, எலக்ட்ரான் கடத்துதல் தடை செய்யப்படும்போது ஆக்ஸிஜன் நுகர்வு குறைகிறது.(படம்.8.9).

8.4 ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றம்

காற்றுள்ள செல் சுவாசத்தின்போது, பெரும்பாலான ATP மூலக்கூறுகள் ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தின் மூலமாக உருவாக்கப்படுகின்றன. இங்கு, சுவாச சங்கிலியில் எலக்ட்ரான் கடத்துதல் மூலமாக NADH மற்றும் $FADH_2$ ஆகியன ஆக்ஸிஜனேற்றமடைவதால் எலக்ட்ரான்கள் பெறப்படுகின்றன. ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தின்போது TCA சுற்றில் கார்பன் எரிபொருட்கள் ஆக்ஸிஜனேற்றமடைந்து, உயர் கடத்து மின்னழுத்தமுடைய எலக்ட்ரான்களை தருகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான் இயக்கு விசையானது புரோட்டான் இயக்கு விசையாக மாற்றப்பட்டு இறுதியாக பாஸ்போரைல் கடத்து மின்னழுத்தமாக மாற்றப்படுகிறது.

NADH-Q ஆக்ஸிடோரிடக்டேஸ், Q-சைட்டோகுரோம் c ஆக்ஸிடோரிடக்டேஸ், மற்றும் சைட்டோகுரோம் c ஆக்ஸிடேஸ் ஆகிய மூன்று எலக்ட்ரான் –இயக்க புரோட்டான் இறைப்பிகளால், எலக்ட்ரான் இயக்கு விசையை, புரோட்டான் இயக்கு விசையாக மாற்றும் செயல்முறை நிகழ்த்தப்படுகிறது. இந்த பெரிய மாற்றுமென்படல அணைவுகள் ஆனவை குயினோன்கள், ஃபிளாவின்கள், இரும்பு–சல்பர் திரள்கள் ஆகியவற்றை உள்ளடக்கிய பல ஆக்ஸிஜனேற்ற–ஒடுக்க மையங்களை பெற்றுள்ளன. ATP சிந்தேஸ்களால் ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தின் இறுதிச் சுற்று நிகழ்த்தப்படுகிறது. மைட்டோகாண்ட்ரியா மேட்ரிஸ்களுக்குள் மீண்டும் நுழையும் புரோட்டான்களால் இந்த ATP தொகுக்கும் அமைப்புகள் இயக்கப்படுகின்றன. இந்த குறிப்பிடத்தக்க நொதியின் கூறுகள் அதன் வினையூக்க இயக்கத்தின் ஒரு பகுதியாக அமைந்துள்ளன.

உயிரியல் அமைப்புகளில், புரோட்டான் செறிவு வேறுபாட்டை , கட்டிலா ஆற்றலாக மாற்ற இயலும் என்பதை ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றம் தெளிவாக விளக்குகிறது. பாஸ்பாரிலேற்றமடைந்த வேதி இடைச்சேர்மங்கள் உருவாகாததாலும், வேதிச்சவ்வூடு பரவல் எனும் வினைவழிமுறையை பின்பற்றுவதாலும் ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றம் ஆனது வினைப்பொருள் அளவிலான பாஸ்பாரிலேற்றத்திலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்டதாக உள்ளது.

8.4.1 வேதிச்சவ்வூடு பரவல் கொள்கை (CHEMIOSMOTIC THEORY)

1961ஆம் ஆண்டில், பீட்டர் மிட்சல் என்பவர் வேதிச்சவ்வூடு பரவல் கொள்கையை வெளியிட்டார். ETC யிலுள்ள பகுதிக்கூறுகளின் ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின் மூலம் உருவாக்கப்பட்ட ஆற்றலானது, மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உள்பகுதியிலிருந்து, மைட்டோகாண்ட்ரியா சவ்வின் உள்பரப்பின் வெளிப்பகுதிக்கு புரோட்டான்களை இடம் மாற்றும் செயல்முறையுடன் இணைக்கப்படுகிறது என்பதை இக்கொள்கை விளக்குகிறது. ஹைட்ரஜன் அயனிகளின் சீரற்ற பங்கீட்டால் உருவாகும் வேதி மின்னழுத்த வேறுபாடானது, ATP உருவாக்கத்தின் வழிமுறையை கண்டறிய பயன்படுத்திக்கொள்ளப்படுகிறது. ஏற்கனவே விவரித்த படி, சுவாச சங்கிலியின் அணைவுகள் புரோட்டான் இறைப்பிகளாக செயலாற்றுகின்றன. மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உட்சவ்வானது தன்வழியே அயனிகளை குறிப்பாக புரோட்டான்களை அனுமதிப்பதில்லை, இதனால் புரோட்டான்கள் சவ்விற்கு வெளியே குவிக்கப்படுவதால் சவ்வு முழுமைக்கும் வேதி மின்னழுத்த வேறுபாடு $(\Delta\mu H^{+})$ உருவாகிறது. இது, வேதி மின்னழுத்தம் என்றழைக்கப்படுகிறது.

வேதிச் சவ்வூடு பரவல் கொள்கையின் சிறப்பம்சங்கள்:

1. ETC வழியாக எலக்ட்ரான்கள் நகரும் அதே சமயத்தில், மேட்ரிக்ஸ்களிலிருந்து புரோட்டான்கள் நகர்த்தப்பட்டு சவ்விடைப் பகுதிக்குள் கொண்டு செல்லப்படுகின்றன. உட்சவ்விற்கு குறுக்காக, மின்னழுத்தம் (ψ) மற்றும் புரோட்டான் செறிவு வேறுபாடு (ΔpH) ஆகியன உருவாகின்றன. இந்த மின்வேதிப் புரோட்டான் செறிவு வேறுபாடானது, புரோட்டான் இயக்கு விசை என்றழைக்கப்படுகிறது.

2. இப்பொழுது, புரோட்டான்கள் சவ்விடைப்பகுதியில் மிக அதிகளவில் குவிக்கப்பட்டுள்ளன. இவை குறிப்பிட்ட வழித்தடங்கள் வழியாக நேரடியாக உட்சவ்வில் நுழைந்து மீண்டும் மேட்ரிக்ஸ்களுக்கு நகர்வதால் செறிவு வேறுபாடு குறைகிறது, ATP உருவாக்கப்படுகிறது.

8.4.2 ATP சிந்தேஸின் பங்கு

ATP சிந்தேஸ் எனும் நொதி அணைவானது நொதி V என அறியப்படுகிறது. இது, எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியால் உருவாக்கப்பட்ட புரோட்டான் செறிவு வேறுபாட்டின் ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி ATP ஐ தொகுக்கிறது. மைட்டோகாண்டியாவிற்கு மீண்டும் புரோட்டான்களை கொண்டு வருதலே

XII U8 Biological oxidation.indd 208 4/21/2020 9:59:47 AM

இந்த ATPase இன் முக்கிய நோக்கமாகும். மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உட்பகுதி காரத்தன்மை கொண்டதால், வினையானது ATP தொகுப்பு நிகழ சாதகமாக அமைகிறது.

ADP மற்றும் Pi ஆகியவற்றிலிருந்து தொகுக்கப்பட்ட ATP ஐ கிளர்வு மையத்திலிருந்து விடுவிக்க F_1F_0 ATPase வழியாக நிகழும் புரோட்டான் நகர்வானது தேவைப்படுகிறது. சைட்டோசாலில் ATP ஐ இருத்திவைப்பதற்காக, மைட்டோகாண்ட்ரியாவினுள் உருவாக்கபட்ட ATP ஆனது, மைட்டோகாண்ட்ரியாவிற்கு வெளியிலுள்ள ADP உடன் பரிமாறிக்கொள்ளப்பட வேண்டும். சைட்டோபிளாஸ ADP க்காக மைட்ரோகாண்ட்ரியா ATP பரிமாற்றப்படும் செயல்முறையானது ATP/ADP டிரான்ஸ்லொகேஸ் எனும் நொதியால் வினையூக்கம் பெறுகிறது. NADH லிருந்து 2 எலக்ட்ரான்கள் முழுமையாக ஆக்ஸிஜனுக்கு கடத்தும் ETC செயல்முறையின் வாயிலாக 3 ATP மூலக்கூறுகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. முதல் ATP உருவாகும் படிக்கு பிறகு, ஒரு $FADH_2$ ஆனது துணைநொதி Q க்குள் எலக்ட்ரான்களை செலுத்துகிறது. ஃபிளாவின் இணைந்த வினைப்பொருள் சங்கிலியிலிருந்து கடத்தப்படும் இரண்டு எலக்ட்ரான்களுக்கு இரண்டு 2 ATP மூலக்கூறுகளை மட்டுமே உருவாக்குகிறது. முதல் ATP ஏற்கனவே உருவாக்கப்பட்ட பிறகு எலக்ட்ரான்களை வழங்குவது மட்டுமே இதற்கு காரணம் அல்ல, NADH போன்று வலுவான ஒடுக்கும் காரணியாக $FADH_2$ இல்லாததும் காரணமாகும். $FADH_2$ மூலக்கூறை ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையச் செய்து 3 ATP மூலக்கூறுகளை உருவாக்குவதற்கு போதுமான ஆற்றல் இல்லை .

8.5 உயர் ஆற்றல் சேர்மங்கள்

உயர் ஆற்றல் சேர்மங்கள் பொதுவாக உயர் ஆற்றல் பாஸ்பேட்டுகள் என குறிப்பிடப்படுகின்றன. கனிம பாஸ்பேட் தொகுதிகள் உயர் ஆற்றல் பிணைப்புகளை உருவாக்குகின்றன. பிணைப்புகள் பிளக்கப்படும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலின் உதவியுடன் உயிரினங்களில் வளர்சிதை மாற்ற செயல்முறைகளை நிகழ்த்தும் திறனைப் இவை பெற்றுள்ளன. நீராற்பகுப்பின் போது, உயர் ஆற்றல் பாஸ்பேட் பிணைப்புகள் ஆற்றலை வெளிப்படுகிறது. ஒரு வினை நிகழவேண்டுமெனில், அதன் ΔG (கட்டிலா ஆற்றல் மாற்றம்) எதிர்குறி மதிப்பை பெற்றிருக்க வேண்டும். பாஸ்பேட்டுகளை கொண்டுள்ள சேர்மங்கள் உயர் ஆற்றல் சேர்மங்களாக அறியப்படுகின்றன. இவற்றின் ΔG மதிப்புகள் –25 அல்லது –30 kJ/mol எனும் அளவில் அமைந்துள்ளன.

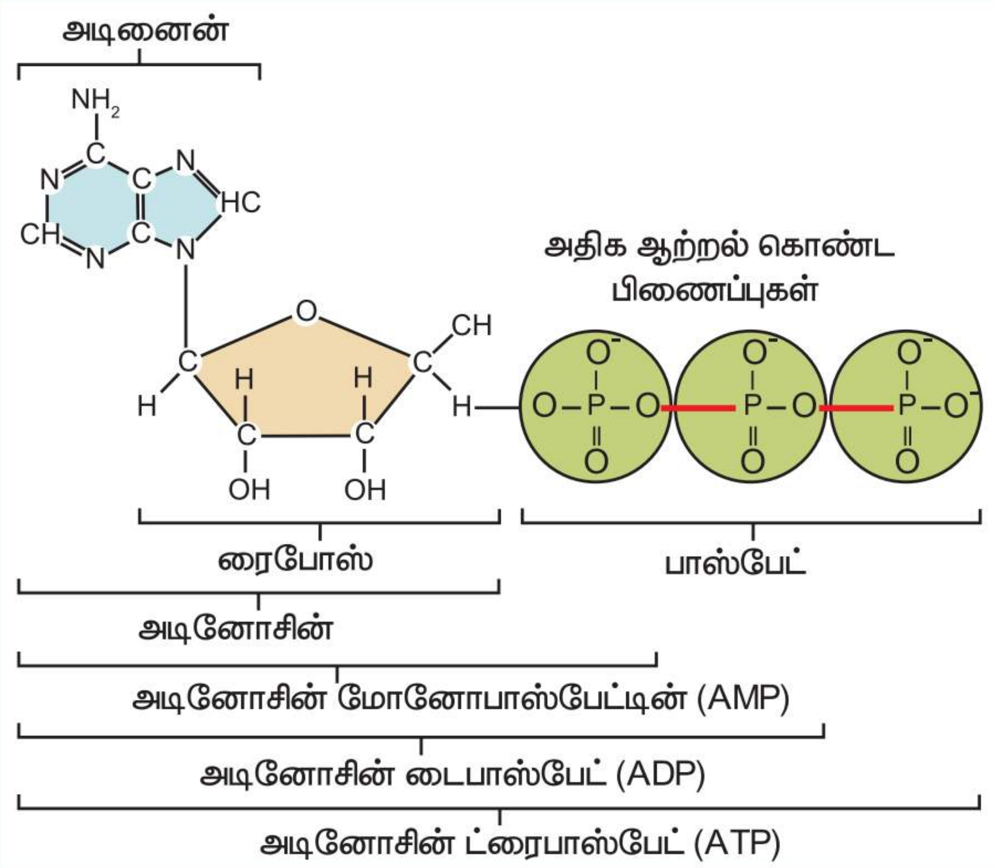
8.5.1 உயர் ஆற்றல் சேர்மங்களின் சேமிப்பு வடிவம்:

உயிரினங்கள், இருவகையான ஆற்றல் சேமிப்புகளை பயன்படுத்துகின்றன. முதலாவதாக, கிளைக்கோஜன் மற்றும் ட்ரைகிளிசரைடுகள் போன்ற ஆற்றல் நிறைந்த மூலக்கூறுகள். இந்த மூலக்கூறுகள், வேதிச் சகப்பிணைப்புகளின் வடிவில் ஆற்றலை சேமிக்கின்றன. செல்கள், இத்தகைய மூலக்கூறுகளை தொகுத்து, பிற்கால ஆற்றல் பயன்பாட்டிற்காக சேமித்து வைக்கின்றன. உயிரியல் ஆற்றல் சேமிப்பின் இரண்டாம் வகை மின்வேதி வினைகளாகும். செல் சவ்வுகளுக்கிடையேயான அயனிச் செறிவுகளின் வேறுபாட்டிலிருந்து ஆற்றலை பெறுகின்றன.

8.5.2 ATP –ஒரு உயர் ஆற்றல் மூலக்கூறு

செல்களின் ஆற்றல் மூலமாக, அடினோசின் ட்ரைபாஸ்பேட் (ATP) விளங்குகிறது. நீராற்பகுத்தலின் போது ATP மூலக்கூறிலுள்ள வேதிப்பிணைப்புகளிலிருந்து, செல் செயல்முறைகளுக்குத் தேவையான ஆற்றல் வெளிவிடப்படுகிறது. செல்லுக்கு ஆற்றல் தேவைப்படும்போது, ஆற்றல் தேக்க மூலக்கூறிலிருந்து ATP ஆக மாற்றப்படுகிறது. ATP உயர் ஆற்றல் மூலக்கூறாக இருப்பதற்கு காரணம் அதிலுள்ள

இரண்டு உயர் ஆற்றல் பாஸ்பேட் பிணைப்புகளே ஆகும். பாஸ்பேட் மூலக்கூறுகளுக்கிடைப்பட்ட பிணைப்புகள் பாஸ்போஅன்ஹைட்ரைடு பிணைப்புகள் என்றழைக்கப்படுகின்றன. ATP மூலக்கூறின் அமைப்பானது படம் 8.10 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 8.10 அடினோசின் பாஸ்பேட் அமைப்பு

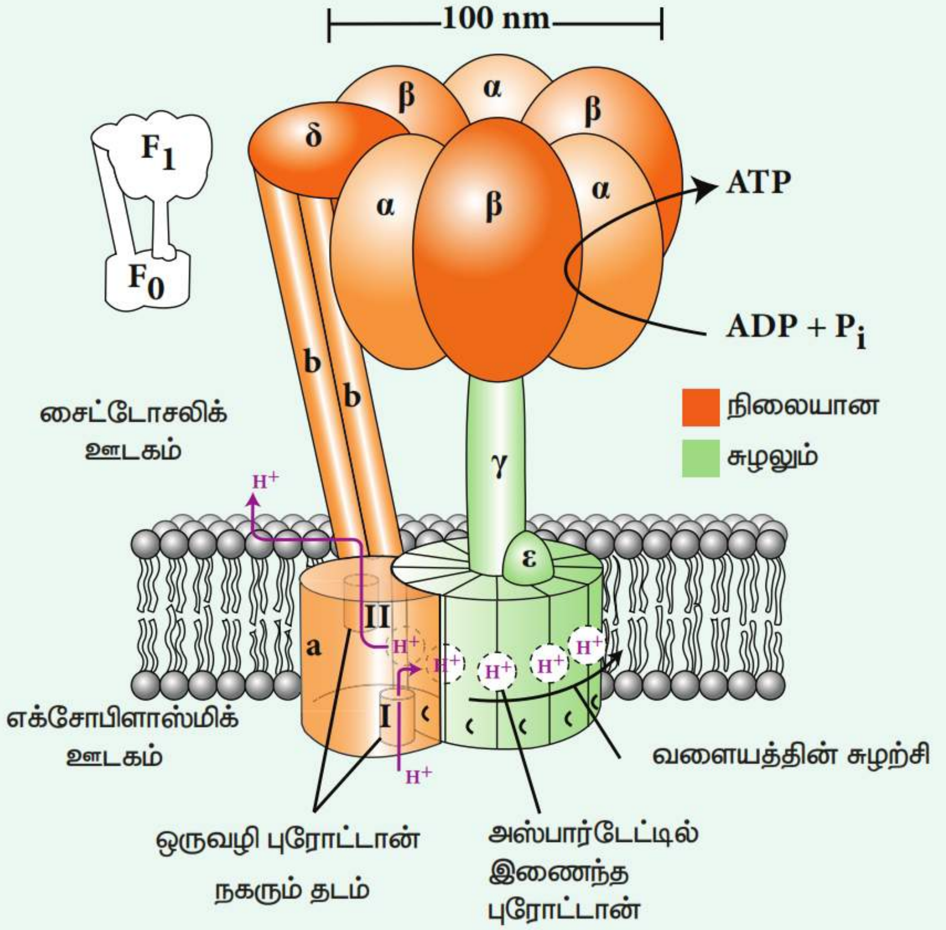
8.5.2.1 ATPயேஸ் இன் வடிவமைப்பு (F_1F_0 ATPயேஸ்) - ATPase

மைட்டோகாண்ட்ரியா ATP சிந்தடேஸ் ஒரு F-வகை ATPயேஸ் ஆகும். குளோரோபிளாஸ்ட் மற்றும் யுபாக்டீரியா ஆகியவற்றிலிருந்து வருவிக்கப்பட்ட மற்ற ATP சிந்தேஸ்களுடன் ஒப்பிடும்போது, இதன் அமைப்பு தனித்தன்மை வாய்ந்ததாக அமைந்துள்ளது. வடிவமைப்பை உற்றுநோக்கும்போது, மைட்டோகாண்ட்ரியா உட்சவ்வில் காணப்படும் பெரிய நொதி அணைவாக ATPயேஸ் உள்ளது. படம் 8.11 இல் காட்டியுள்ளவாறு இது ADP மற்றும் Pi ஆகியவற்றிலிருந்து ATP உருவாதலை ஊக்குவிக்கிறது. ATP சிந்தடேஸ் இரண்டு தனித்தனி கூறுகளை கொண்டுள்ளது.

F_1 (**வினையூக்க அலகு**) : இது மைட்டோகாண்ட்ரியா மேட்ரிக்ஸ்ல் அமைந்துள்ளது, மேலும் இது ஐந்து வகை பாலிபெப்டைடு சங்கிலிகளை (α_3, β_3, γ, ε மற்றும் δ சங்கிலிகள்) கொண்டுள்ள புற அமைவு புரதமாகும்.

XII U8 Biological oxidation.indd 210 4/21/2020 9:59:47 AM

F_o (o - **ஒலிகோமைசின்-நுண் உணர்திறன் கொண்டிருப்பதை குறிப்பிடுகிறது**): இது ஒரு ஒருங்கிணைந்த சவ்வுப் புரதமாகும், இதில் a, b, மற்றும் c ஆகிய மூன்று துணை அலகுகள் ab_2c_{10-12}. என்ற விகிதத்தில் அமைந்துள்ளன.



படம் 8.11 ATP சிந்தேசின் அமைப்பு

β துணை அலகானது, ADP / P_i பிணைப்பு மையங்களை கொண்டுள்ளது; α துணை அலகால் ATP ஐ பிணைக்க இயலும்.; γ துணை அலகானது சுழன்று ஆல்ஃபா மற்றும் பீட்டா வடிவங்களாக மாறுகிறது. F_0 அலகின் c துணைஅலகானது புரோட்டான் அரை வழித்தடங்களை கொண்டுள்ளது; 'c' துணை அலகுகளுக்குள் புரோட்டான் நுழையும் மையமாக 'a' செயல்படுகிறது.

F1 **வினையூக்க அலகு**: மூன்று α மற்றும் மூன்று β சங்கிலிகள் ஒன்றிணைந்து ஹெக்சாமெரிக் $\alpha_3\beta_3$ ஐ உருவாக்குகிறது. இது ATP தொகுப்பு வினையூக்கத்திற்கு பொறுப்பாகிறது. γ மற்றும் ε பாலிபெப்டைடு சங்கிலிகள் ஒன்றிணைந்து மையக் தாங்கும் பகுதியை உருவாக்குகின்றன, இது ஹெக்சாமெரிக் வளைய குழிக்குள் நீள்கிறது. γ துணை அலகானது, $\alpha_3\beta_3$ ஐ தாங்கி பிடித்துக்கொள்ளவும், இயந்திரம் சுழல்வதை வெளிக்காட்டவும் உதவுகிறது. இந்த அணைவானது எலக்ட்ரான் கடத்துதலினால்

XII U8 Biological oxidation.indd 211 4/21/2020 9:59:48 AM

வெளிப்பட்ட ஆற்றலை பாதுகாத்து ATP தொகுப்பை உந்துகிறது. அதேசமயம், F_1 கூறு தனியாக ATP மூலக்கூறை நீராற்பகுக்கிறது.

புரோட்டான் இறைப்பியின் F_0 பகுதி : இது 10-14 c துணை அலகுகளை ஒன்றிணைத்து வளைய அமைப்பை உருவாக்கி புரோட்டான் வழித்தடமாக (proton channel) செயல்படுகிறது. ஒரு ஒற்றை 'c' அலகானது F_0 அலகை ஐ F_1 அலகுடன் இணைக்கிறது. $\gamma\varepsilon$ மையக் தாங்கும் பகுதியின் ஊடாகவும், ஒரு a , இரண்டு b மற்றும் ஒரு δ துணை அலகு ஆகியவற்றால் உருவாக்கப்பட்ட நீட்சி ஊடாகவும் F_0 மற்றும் F_1 அலகுகள் இரண்டு புள்ளிகளில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

8.5.2.2 ATP நீராற்பகுத்தலின் கட்டிலா ஆற்றல்

பாஸ்பேட்டைக் கொண்டுள்ள மூலக்கூறுகளில், ATP மிக முக்கியமான மூலக்கூறாகும். இது, நொதிகளுக்கிடையே ஆற்றலை பரிமாற்றம் செய்கிறது. ATP மூலக்கூறு நிலைப்புத் தன்மையற்றது, நீராற்பகுப்படைந்து ADP ஆகவும், கனிம பாஸ்பேட்டாகவும் மாறுகிறது. ATP இல் உள்ள இரண்டு உயர் ஆற்றல் பாஸ்போஅன்ஹைட்ரைடு பிணைப்புகளினால் அது உயர் ஆற்றல் மூலக்கூறாக உள்ளது.

ATP மூலக்கூறின் நீராற்பகுப்பு வினையின் ΔG° மதிப்பு –30.5 kJ/mol. மேலும், செல்லில் ADP யின் செறிவைவிட ATP யின் செறிவு அதிகமாக இருப்பதால், $\Delta G^{\circ\prime}$ மதிப்பைவிட, வினையின் ΔG அதிக எதிர்குறி மதிப்பை பெறுகிறது. எனவே, ATP நீராற்பகுப்பினால் உருவாகும் ஆற்றலானது மற்ற அமைப்புகளுக்கு வழங்கப்படுகிறது. இதனால் வெப்ப இயக்கவியலாக சாதகமற்ற வினைகளை நிகழ்த்த அந்த அமைப்புகள் அனுமதிக்கப்படுகின்றன.

பயன்படுத்தக்கூடிய ஆற்றலை பாஸ்பேட் பிணைப்புகள் கொண்டுள்ளன. AMP மூலக்கூறிலிருந்து தனித்த அடினோசின் மூலக்கூறை விடுவிக்கும் பாஸ்பேட்டின் நீராற்பகுப்பு வினைவின் $\Delta G^{\circ\prime}$ மதிப்பு –14 kJ/mol; இது உயர் ஆற்றல் பாஸ்பேட் பிணைப்பாக கருதப்படுவதில்லை, மேலும் பிணைப்பானது நேர்க்கோடாக குறிப்பிட்டுக் காட்ட வலியுறுத்தப்படுகிறது.

பாஸ்பேட் மாற்றம் நிகழாத, வெப்ப இயக்கவியலாக சாத்தியமற்ற வினைகளை நிகழ அனுமதிக்கும் வெப்ப இயக்கவியல் உந்து விசையாக ATP நீராற்பகுத்தல் திகழ முடியும் என்பதே நிகர விளைவாகும். பரவலாக பயன்படும் உயர் மூலக்கூறாக ATP இருப்பினும், உடலியல் முக்கியத்துவம் வாய்ந்த மேலும் சில உயர் ஆற்றல் மூலக்கூறுகள் உள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக, அசிட்டைல் – CoA விலுள்ள உயர் ஆற்றல் தயோஎஸ்டர் பிணைப்பு.

8.6 இணைத் தடுப்பான்கள்

2, 4 டைநைட்ரோபீனால் (DNP) போன்ற வேதிப்பொருட்கள் இணைத் தடுப்பான்களாக செயல்படுகின்றன. அதாவது, அவை ATP தொகுப்பை தடைசெய்கின்றன, ஆனால் ETC தொடர்ந்து இயங்குவதால் ஆக்ஸிஜன் தொடர்ந்து நுகரப்படுகிறது. DNP யும், மற்ற இணைத் தடுப்பான்களும் லிப்பிடுகளில் கரையும் சிறிய அமைப்புக்கூறுகளாகும், மேலும் இவை H^+ அயனிகளுடன் பிணைந்து அவற்றை சவ்வுகளுக்கிடையே கடத்துகின்றன.

XII U8 Biological oxidation.indd 212 4/21/2020 9:59:48 AM

பாடச் சுருக்கம்

யூகேரியோட் செல்களில், காற்றுச் சூழல் வினைகள் மைட்டோகாண்ட்ரியாவில் நிகழ்கின்றன. ஒரு உள் சவ்வானது மைட்டோகாண்ட்ரியாவை மேட்ரிக்ஸ் மற்றும் சவ்விடைப் பகுதி என இரண்டு பகுதிகளாக பிரிக்கிறது : உட்சவ்வில் நிகழும் ETC செயல்முறையானது, NADH மற்றும் சக்சினேட்டை ஆக்ஸிஜனேற்றம் செய்து, ஆக்ஸிஜனை பயன்படுத்தி ATP ஐ உருவாக்குகிறது. சுவாச சங்கிலி மற்றும் சுவாச சங்கிலி இணைவதால் ATP உருவாதல் ஆகியவற்றை பின்வருமாறு சுருக்கிக்கூற முடியும்.

1. வினைப்பொருட்களுக்கிடையே எலக்ட்ரான்களை பரிமாறிக்கொள்ளும் வேதிவினைகள் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினைகள் என்றழைக்கப்படுகின்றன.
2. ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின் போது வினைப்பொருள் எலக்ட்ரான்களை இழக்கிறது அல்லது ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைகிறது. ஒடுக்கத்தின்போது வினைப்பொருள் எலக்ட்ரான்களை ஏற்றுக்கொள்கிறது அல்லது ஒடுக்கம் அடைகிறது.
3. எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியானது நான்கு அணைவுகளை உள்ளடக்கிய, பல படிகளில் நிகழும் செயல்முறையாகும். ஃபிளாவோபுரதங்கள், சைட்டோகுரோம்கள், இரும்பு–சல்பர் திரள்கள் மற்றும் குயினோன் ஆகியன எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியின் பகுதிக்கூறுகளாகும்.
4. அணைவு I ஆனது NADH லிருந்து எலக்ட்ரான் ஏந்தியான யுபிகுயினோனுக்கு எலக்ட்ரானைக் கடத்துகிறது. அணைவு II ஆனது சக்சினேட்டிலிருந்து யுபிகுயினோனுக்கு எலக்ட்ரானைக் கடத்துகிறது.
5. bL, bH மற்றும் இரும்பு சல்பர் மையம் c + ஆகிய மூன்று முக்கிய சைட்டோகுரோம்களை அணைவு III உள்ளடக்கியுள்ளது. இவை, ஒடுக்கப்பட்ட யுபிகுயினோனிலிருந்து (UQH_2) சைட்டோகுரோம் c க்கு எலக்ட்ரானை கடத்துகின்றன.
6. அணைவு IV ஆனது இரண்டு சைட்டோகுரோம்களையும் (a மற்றும் a3), இரண்டு காப்பர் அணுக்களையும் பெற்றுள்ளது. மேலும் இது ஆக்ஸிஜனுக்கு எலக்ட்ரான்களை கடத்துகிறது.
7. MPTP, ரொட்டினோன், அசைடு மற்றும் சயனைடு போன்ற பல்வேறு நச்சுத்தன்மை கொண்ட சேர்மங்கள் எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியை தடைசெய்கின்றன.
8. ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தின்போது NADH மற்றும் $FADH_2$ ஆகியவற்றிலிருந்து பெறப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் ஆக்ஸிஜனுடன் இணைகின்றன மேலும் வெளிப்படும் ஆற்றலானது ADP லிருந்து ATP தொகுக்கப்படும் வினையை நிகழ்த்த பயன்படுத்தப்படுகிறது.
9. ATP சிந்தேஸ் ஒரு மீள் பிணைப்பு சாதனமாகும். மின்வேதி புரோட்டான் செறிவு வேறுபாட்டு ஆற்றலை, வேதிப்பிணைப்பு ஆற்றலாகவும் அல்லது நேர்மாறாகவும் இதனால் மாற்றமுடியும்.
10. NADH/$FADH_2$ லிருந்து O_2 க்கு ஆற்றல் கடத்தப்படும் செயல்முறையில், கடத்தப்பட்ட ஒவ்வொரு இரண்டு எலக்ட்ரான்களுக்கும் -52.5kcal/mol எனும் உயர் ΔG மதிப்பை உருவாக்குகிறது.

XII U8 Biological oxidation.indd 213 4/21/2020 9:59:48 AM

மதிப்பீடு

சரியான விடையை தேர்தெடுத்து எழுதுக.

1. காற்றுள்ள செல் சுவாசத்தின்போது, பெரும்பாலான ATP மூலக்கூறுகள் _________ மூலம் உருவாக்கப்படுகின்றன.

   அ. வினைப்பொருள் அளவிலான பாஸ்பாரிலேற்றம்

   ஆ. பைருவேட் கைனேஸ்

   இ. கிளைக்காலைசிஸ்

   ஈ. ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றம்

2. NADH டிஹைட்ரஜனேஸின் இணைத் தொகுதி

   அ. FMN ஆ. NADH

   இ. FAD ஈ. NADPH

3. வேதிச்சவ்வூடு பரவல் கொள்கைப்படி நிகழாதது எது?

   அ. சவ்வின் வழியே புரோட்டான்கள் நுழைய முடிவதில்லை.

   ஆ. சுவாச சங்கிலியினால் நிகழும் எலக்ட்ரான் நகர்வு, மைட்டோகாண்ட்ரியாவிலிருந்து புரோட்டான்களை வெளியே இறைக்கின்றன.

   இ. மைட்டோகாண்ட்ரியாவினுள் புரோட்டான்கள் பாய்தல் நிகழ்வு ADP + Pi ஆகியவற்றை சார்ந்துள்ளது.

   ஈ. புரோட்டான் கட்த்துதல் மட்டுமே ஒழுங்குபடுத்தப்பட்டுள்ளது. மற்ற நேர்மின் அயனிகள் மைட்டோகாண்ட்ரியா சவ்வின் வழியே எளிதில் ஊடுருவ முடியும்.

4. பின்வருவனவற்றுள் எது ஒரே ஒரு எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொள்கிறது?

   அ. சைட்டோகுரோம் ஆ. துணைநொதி Q

   இ. FMN ஈ. FAD

5. எலக்ட்ரான் இழைப்பை ________ என பெயரிட முடியும்.

   அ. வளர்சிதை மாற்றம் ஆ. வளர்மாற்றம்

   இ. ஆக்ஸிஜனேற்றம் ஈ. ஒடுக்கம்

6. எந்த அணைவு புரோட்டான் இறைப்பியாக செயல்படாது?

   அ. NADH டிஹைட்ரஜனேஸ் அணைவு I

   ஆ. சக்சினேட் டிஹைட்ரஜனேஸ் அணைவு II

   இ. சைட்டோகுரோம் ரிடக்டேஸ் அணைவு III

   ஈ. சைட்டோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸ் அணைவு IV

7. ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றத்தின் இணை தடுப்பான்

   அ. DNP ஆ. DTT

   இ. அசைடு ஈ. ரொட்டினோன்

XII U8 Biological oxidation.indd 214 4/21/2020 9:59:48 AM

ஓரிரு வரிகளில் விடையளி:

1. ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினைகளை விளக்குக.
2. மைட்டோகாண்ட்ரியாவின் உள்ளமைப்பை விளக்குக.
3. எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியின் தடுப்பான்கள் பற்றி விவரி.
4. ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பாரிலேற்றம் பற்றி நீவீர் புரிந்து கொண்டது என்ன?
5. உயர் ஆற்றல் பாஸ்பேட் பிணைப்புகள் பற்றி விளக்குக.

விரிவாக விடையளி

1. எலக்ட்ரான் கடத்துச் சங்கிலியில் நிகழும் எலக்ட்ரான்களின் பாய்தலை படம் வரைந்து விளக்குக.
2. ATP சிந்தேஸின் வடிவமைப்பு அம்சங்களை விளக்குக.

மாணவர்கள் செயல்பாடு

ஒரு அட்டையினைப் பயன்படுத்தி ஒரு மைட்டோகாண்ட்ரியானை உருவாக்கவும் மற்றும் அதன் பாகங்களை குறிக்கவும்.

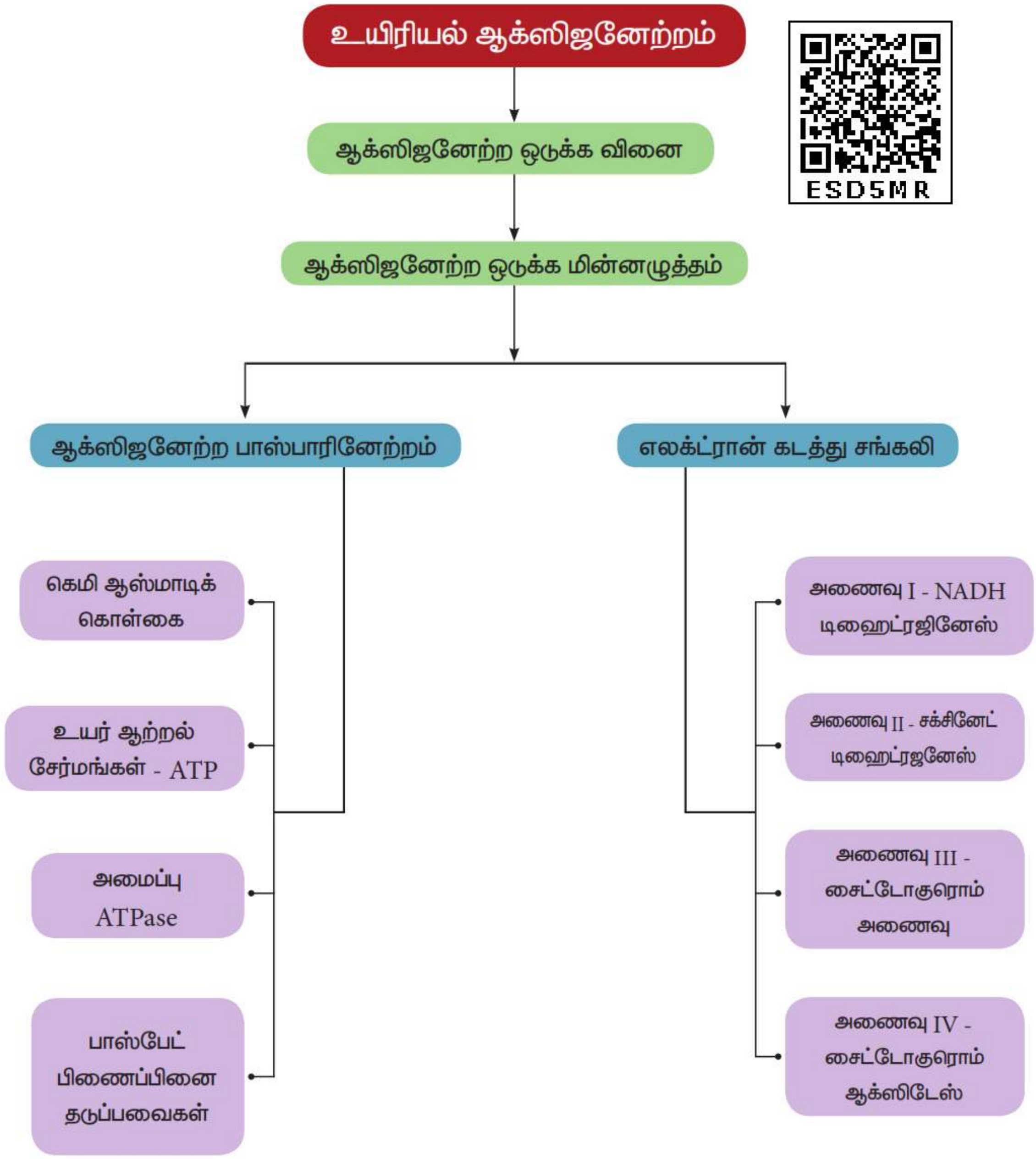
ஒரு எலக்ட்ரான் கடத்து சங்கலியின் கூறுகளை விளக்கப்படத்தின் மூலம் உரியமுறையில் தருக.

மேற்கோள் நூல்கள்

1. Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwell VW. Harper's illustrated Biochemistry, 30th Edn. Mc.Graw Hill Publishers.
2. Lehninger, Nelson DL and Cox MM. Principles of Biochemistry. II Edn.
3. Mckee T, McKee JR. Biochemistry. The Molecular basis of life. Third Edn. Mc.Graw Hill Publishers.
4. Voet D, Voet J, Pratt CW. Fudamentals of Biochemistry. Wiley Publishers.
5. Talwar GP. Srivastava LM. Text book of Biochemistry and human biology, Prentice Hall India Learning Private Limited; 3 edition (2002)
6. S.Nagini, Textbook of Biochemistry.

XII U8 Biological oxidation.indd 215 4/21/2020 9:59:48 AM

கருத்து வரைபடம்



ESD5MR

XII U8 Biological oxidation.indd 216 4/21/2020 9:59:48 AM