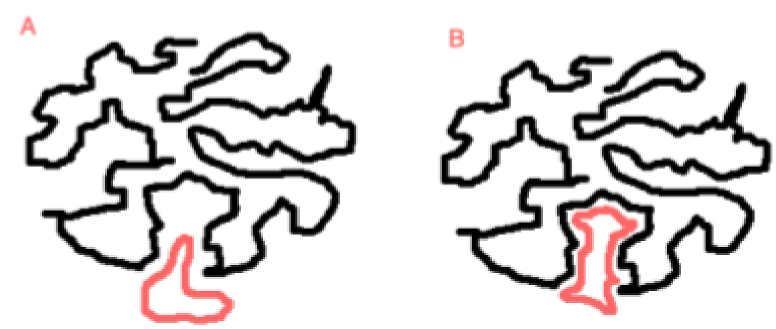
# హీమోగ్లోబినులో దూరపు సంబంధాలు

ఆరి సీతారామయ్య

జాక్ మోనో (1910-1976) ఈ.కోలై పెరుగుదల మీద చేసిన ప్రయోగాల గురించి ఇదివరకే మాట్లాడుకున్నాం (విజ్ఞాన భారతి, నవంబరు 2025). ఆ ప్రయోగాల ఫలితంగా ఒక జీను (gene, జనువు, జన్యు ఖండం) లో ఉన్న సమాచారం ఆధారంగా ఒక ప్రొటీను తయారు కావడాన్ని ఇతర ప్రొటీన్లు గానీ, చిన్న అణువులు గానీ ఎలా నియంత్రిస్తాయో తెలుసుకున్నాం. నియంత్రణ పలువిధాలుగా ఉండవచ్చు. వాటిలో ఒకటి, బహుశా అన్నిటికంటే ముఖ్యమైనది, ఎల్లోస్ట్రిరిక్ నియంత్రణ (allosteric regulation). గ్రీకు భాషలో ἄλλος (allos) అంటే ఇతర అనీ, στερεός (stereos) అంటే చోటు అనీ అర్థం. ఎల్లోస్ట్రిరిక్ నియంత్రణ అంటే ఒక పదార్థం ఒక ప్రొటీను మీద ఒక చోట కలిసి (అతుక్కుని), అదే ప్రొటీను మీద మరో చోట కలిసిన పదార్థాన్ని విడదీయడం, లేక దాని ఆతుకుని బలోపేతం చెయ్యడం. ఈ ప్రక్రియను అర్థం చేసుకోవడానికీ, ఒక ఉదాహరణను పరీక్షించడానికి ముందు, అసలు ఒక పదార్థం ఒక ప్రొటీనుని కలవడం (చేరడం, పట్టుకోవడం, అతుక్కోవడం) అంటే ఏమిటో అర్థం చేసుకుందాం.

## ఆకారం, రూపం

మన శరీర కణాల్లో (సూక్ష్మ క్రిముల కణాల్లో కూడా) ప్రొటీన్లు ద్రవ పదార్థంలో కదులుతూ ఉంటాయి. ప్రొటీన్లు రెండు రకాల రూపాల్లో ఉంటాయి: కొన్ని బంతుల్లాగా ఉంటాయి (ఉదా: రక్తంలో ఉండే హీమోగ్లోబిను), మరికొన్ని కడ్డీల్లాగా ఉంటాయి (ఉదా: గోళ్లలో వెంట్రుకల్లో ఉండేవి). మనం బంతుల రూపంలో ఉండే ప్రొటీన్ల గురించి మాట్లాడుకుందాం. ప్రొటీన్ల ఉపరితలం నున్నగా ఉండదు, ఎత్తుపల్లాలూ, గుంటలూ, బుడుపులూ ఉంటాయి. కణ ద్రవ్యంలో ప్రొటీన్లు సంచరిస్తున్నప్పుడు చిన్నాపెద్దా పదార్థాలు వాటికి తగులుతూ ఉంటాయి. అలా తారసపడిన ప్రతి పదార్థం ప్రొటీనుతో అతుక్కుని స్థిరమైన బంధం ఏర్పరచుకోలేదు. చాలావరకు తగిలి, తప్పుకుని పోతూ ఉంటాయి. స్థిరమైన బంధం ఏర్పడాలంటే, తారసపడిన పదార్థానికీ, అది తగిలిన ప్రొటీను ఉపరితల స్థానానికీ అనువైన ఆకారాలుండాలి (1వ బొమ్మలో B లో ఉన్నట్లు).

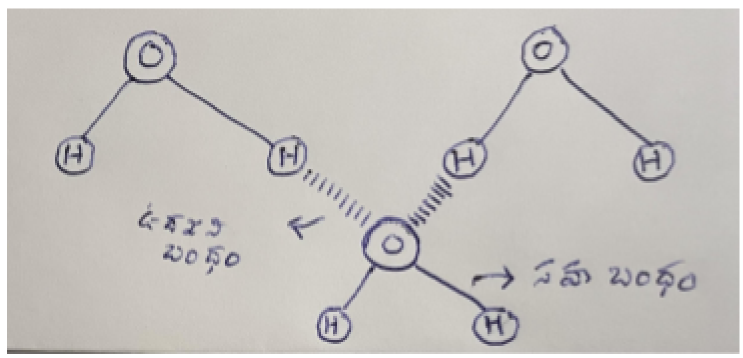



1వ బొమ్మ: ప్రోటీన్ తో కలవడానికి అనువుకాని పదార్థ రూపము (A) అనువైన పదార్థ రూపము (B)

తగిన ఆకారాలు ఉన్నంత మాత్రాన మంచి బంధం ఏర్పడకపోవచ్చు. వాటితోబాటు పదార్థానికీ ప్రోటీనుకీ మధ్య రసాయనిక బంధాలు ఏర్పడే అవకాశం ఉంటేనే ఫలప్రదమైన సంబంధం ఏర్పడే అవకాశం పెరుగుతుంది. అందుచేత రసాయనిక బంధాల గురించి కొంచెం వివరంగా తెలుసుకోవాల్సిన అవసరం ఉంది.

## రసాయనిక బంధాలు

రసాయనిక బంధాల్లో చాలారకాలున్నాయి. మొదట కోవలెంట్ బంధం గురించి మాట్లాడుకుందాం. ఒక కోవలెంట్ బంధం (**సహబంధం**, Covalent bond) రెండు మూలకాల (elements) మధ్య ఏర్పడుతుంది. ఇది ఏర్పడటానికి ఆ రెండు మూలకాలు ఒక్కో ఎలక్ట్రాన్ని ఇస్తాయి. ఆ రెండు ఎలక్ట్రాన్లు ఇప్పుడు సహబంధం ద్వారా ఆ రెండు మూలకాల అధీనంలో ఉంటాయి. మన శరీరంలో ఉన్న అణువుల్లో ఉన్న మూలకాల్లో ముఖ్యమైనవి కొన్ని కర్బనం (C, Carbon), ఉదజని (H, Hydrogen), ప్రాణవాయువు (O, Oxygen), నత్రజని (N, Nitrogen), గంధకం (S, Sulfur), ఫాస్ఫరస్ (P, Phosphorus) . ప్రతి మూలకానికీ ఎలక్ట్రాను కీ (**$e^-$, electron)** మధ్య ఉన్న ఆకర్షణే అన్ని రసాయనిక బంధాలకూ**,** మార్పులకూ కారణం. ప్రతి మూలకానికీ ఎలక్ట్రాను మీద ఉన్న ఆకర్షణకు (electronegativity) ఒక సంఖ్యాపరమైన విలువ ఉంది. ఉదాహరణకు H విలువ 2.20; C, 2.55; N, 3.04; O, 3.44, P, 2.19; S, 2.58. ఈ ఎలెక్ట్రాను ఆకర్షణ ప్రభావం ఎంటో చూద్దాం. రెండు కర్బనం మూలకాల మధ్య సహబంధం ఉందనుకుందాం. అంటే R-**C**-**C**-R[1] ఏర్పడింది. ఇలాంటి బంధం ఏర్పడిందంటే రెండు మూలకాలూ ఒక్కో ఎలక్ట్రాన్ని ఇచ్చాయి. బంధానికి రెండు వైపులా ఒకే మూలకం ఉంది కాబట్టి వాటికి ఆ రెండు ఎలక్ట్రాన్ల మీదా సమమైన ఆకర్షణ ఉంటుంది.




2వ బొమ్మ : రసాయనిక బంధాలు: సహ బంధం, ఉదజని బంధం

ఇప్పుడు ఒక ప్రాణవాయువు మూలకానికీ (O) ఒక ఉదజని మూలకానికీ (H) మధ్య సహబంధం ఉందనుకుందాం: R-**O**-**H**. బంధానికి ఒక వైపు ఉన్న H కి ఎలక్ట్రాన్ ఆకర్షణ (ఎ. ఆ.**)** 2.20, మరో వైపు ఉన్న O కి ఎ. ఆ. 3.44. వాటి మధ్య తేడా 1.24. ఇంత పెద్ద తేడా ఉండటం వల్ల సహబంధంలో ఉన్న రెండు ఎలక్ట్రాన్లు O వైపుకు దగ్గరగా ఉంటాయి. దాని వైపు మొగ్గు చూపించడం వలన O కాస్త నెగెటివు గానూ (**$\delta^-$**) (partially negative) (ఎలక్ట్రాను నెగెటివు కాబట్టి), H కాస్త పాజిటివు గానూ (**$\delta^+$**) (partially positive) మారతాయి. ఎలక్ట్రాన్ ఆకర్షణ అసమానంగా ఉన్న ఇలాంటి సహబంధాన్ని **అసమాన బంధం** (polar bond) అని కూడా అంటారు. ఇప్పుడు ఈ O తనకు దగ్గరగా ఉండి పాజిటివుగా ఉన్న ఇతర మూలకాలను ఆకర్షిస్తుంది, H తనకు దగ్గరగా ఉన్న నెగెటివుగా ఉన్న మూలకాలను ఆకర్షిస్తుంది. అలాంటి ఆకర్షణకు గురై చేరిన మూలకాల మధ్య ఒక కొత్త రకం బంధం ఏర్పడుతుంది. దీన్ని హైడ్రోజను బాండ్ **(**Hydrogen bond**, ఉదజని బంధం)** అంటారు. రెండవ బొమ్మలో నిలువు గీతలతో (llll) చూపించబడింది. సహబంధంలో లాగా రెండు ఎలక్ట్రాన్లను పంచుకోవడం ఉదజని బంధంలో ఉండదు. మూలకాల మధ్య కొంత ఆకర్షణ మాత్రమే ఉంటుంది. అందువల్ల R-**O**-**H** లో ఉన్న సహబంధంతో పోలిస్తే R-**O**-**H llll O**-R బంధం ఇరవై రెట్లు తక్కువ బలమైనది. R-**N**-**H llll N**-R, R-**N**-**H llll O**-R బంధాలు కూడా ఉదజని బంధాలే.

మరో రకమైన బంధాన్ని **అయాను బంధం** (ionic bond) అంటారు. ఉదజని బంధంలో ఉన్న మూలకాలకు కాస్త నెగెటివు (**$\delta^-$**), కాస్త పాసిటివు (**$\delta^+$**) చార్జి (charge) ఉంటే, ఆయాను బంధంలో ఉన్న మూలకాలమీద పూర్తి చార్జి ఉంటుంది. ఉదాహరణకు: R -(C(=O)-**$O^-$, $^+$N**($H_3$)-R ల మధ్య ఏర్పడే బంధం. ఇక్కడ దగ్గరగా వచ్చిన O మీద పూర్తి నెగెటివు చార్జి ఉంది, N మీద పూర్తి పాజిటివు

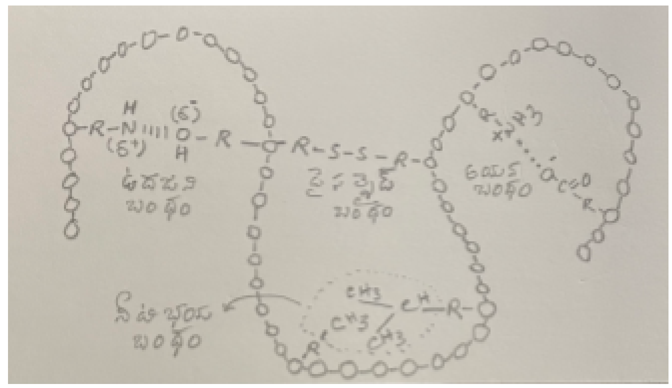
[1] రసాయన శాస్త్రంలో ఒక అణువు నిర్మాణాన్ని పూర్తిగా చూపించకుండా వివరణకు అవసరమైనంతవరకే చూపించే సౌలభ్యం ఉంది. అణువులో ఉన్న మిగతా భాగాన్ని R అని రాయడం పరిపాటి.

చార్జి ఉంది. వీటి మధ్య ఉండే బంధాన్ని **($-O^{-}$ ...... $^{+}N-$)** అయాను  బంధం అంటారు. ఆయాను బంధంలో ఉండే బలం సహబంధానికంటే తక్కువగా, ఉదజని బంధానికంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది.

మనం చెప్పుకోవలసిన మరో బంధం పేరు హైడ్రోఫోబిక్కు బంధం (Hydrophobic bond). ఇది నిజమైన బంధం కాదు. పేరుకు తగ్గట్టు **నీటి'భయం'బంధం** మాత్రమే. ఉదాహరణకు $CH_3$-R ని తీసుకుందాం. C కీ H కీ మధ్య ఎ. ఆ. లో పెద్దతేడా లేదు, 0.35 మాత్రమే. అంటే ఈ బంధంలో ఎలక్ట్రాన్లు ఒకవైపు పెద్దగా మొగ్గు చూపవు. అందువల్ల దీనిలో ఉన్న C కి గానీ, H కి గానీ నీటి కణంలో ఉన్న H తో  గానీ O తో  గానీ ఉదజని బంధం ఏర్పడే అవకాశం లేదు. ఇలాంటి నీటిని ఇష్టపడని అణువులు నీటికి దూరంగా, తమలాంటి అణువులకు దగ్గరగా ఉండటానికి ఇష్టపడతాయి. నూనె, నీరు కలవవు కదా, దానికి కారణం ఈ నీటి భయమే! ఇవికాక రెండు గంధకం మూలకాల మధ్య ఏర్పడే సహబంధాన్ని **డైసల్ఫైడు బంధం** అంటారు. ఈ బంధాలు మూడవ బొమ్మలో చూపించబడినాయి.

## ప్రొటీను రూపం

ఇక, మనం ఇంతవరకూ చెప్పుకున్న బంధాలకూ ఒక ప్రొటీనుకు ఉండే రూపానికీ  మధ్య  సంబంధం ఏమిటో చూద్దాం. ప్రొటీను అంటే **ఎమినో ఆమ్లాలు** (amino acids) వరుసగా కలిసి ఏర్పడే పొడవైన గొలుసు (ఇలా -o-o-o-o-o-o- చూపించే ఆనవాయితీ ఉంది). ఇరవై రకాల ఎమినో ఆమ్లాలనుండి  ప్రొటీన్లు తయారవుతాయి. మన శరీరంలో దాదాపుగా 80,000 రకాలకు పైగా ప్రొటీన్లు ఉన్నాయి. అన్ని ఉన్నాయా  అని ఆశ్చర్యపడాల్సిన అవసరం లేదు. ఎందుకంటే ఐదు ఎమినో ఆమ్లాలతో తయారయ్యే గొలుసుని తీసుకుని, ఐదు స్థానాల **ప్రస్తారాన్ని** (permutation) లెక్కవేస్తే, అవి  20 x 20 x 20 x 20 x 20 = 3,200,000 రకాల వరుసల్లో ఉండవచ్చు. అంటే అన్ని రకాల విశిష్టమైన ప్రొటీన్లు తయారు కాగలిగే అవకాశం ఉంది. కొన్ని ప్రొటీన్లలో వందలకొద్దీ ఎమినో ఆమ్లాలు ఉంటాయి. ఎన్ని రకాల ప్రొటీన్లు తయారీకి అవకాశం ఉందో ఊహించండి! కానీ అన్నీ తయారు కావు, జీవపరిణామ క్రమంలో కొన్ని మాత్రమే తయారవుతాయి. ఇక ప్రతి ప్రోటీనూ మొదట తయారైనప్పుడు ఒక గొలుసులాగా పొడవుగా ఉంటుంది. కానీ చాలా ప్రొటీన్ల విషయంలో వాటి క్రియా శీలక రూపం, అంటే అవి శరీరంలో పనిచేయడానికి సిద్ధంగా ఉన్నప్పటి రూపం, బంతిలాగా ఉంటుంది. గొలుసులు బంతులెలా అవుతాయి? మనం పైన చెప్పుకున్న బంధాలే దానికి కారణం.

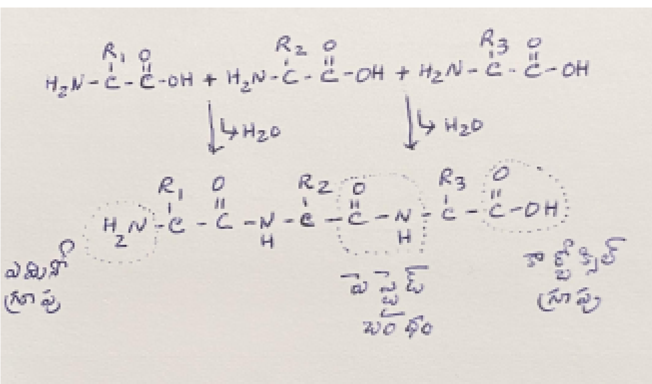


3వ బొమ్మ: పలు రకాల రసాయనిక బంధాలు

ప్రొటీన్లను తయారుచేసే ఎమినో ఆమ్లాల రూపం చూద్దాం. వీటికి ఒక వైపు ఎమినో గ్రూపు ఉంటుంది, మరో వైపు **కార్బోక్సిలు** (carboxyl) గ్రూపు ఉంటుంది. మొదటి ఆమ్లం యొక్క కార్బోక్సిలు గ్రూపు రెండో ఆమ్లం యొక్క ఎమినో గ్రూపు మధ్య జరిగే రసాయనిక ప్రక్రియ ద్వారా రెండు ఆమ్లాలూ ముడిపడతాయి. దీన్ని **పెప్టైడు బంధం (**peptide bond**)** అంటారు. ఈ బంధం ఏర్పడిన ప్రతి చోటా ఒక నీటి అణువు ($H_2O$) కూడా తయారవుతుంది.

వంద ఎమినో ఆమ్లాల ద్వారా ఒక ప్రోటీను తయారయిందంటే, 99 పెప్టైడు బంధాలు ఏర్పడాలి. అలా తయారైన ప్రోటీనులో మొదటి ఆమ్లం మీద ఒక ఎమినో గ్రూపు, చివరి ఆమ్లం మీద ఒక కార్బోక్సిలు గ్రూపు మిగిలి ఉంటాయి. ఇవేకాక కొన్ని ఆమ్లాలమీద మనం R అని చూపించిన భాగంలో (తోకలో) కొన్ని -OH, -SH, -C(=O)-OH, -NH2, -NH- గ్రూపులూ ఉంటాయి[2]. ప్రోటీన్ల గోళాకారానికి కారణం ఈ గ్రూపుల మధ్య మనం పైన చెప్పుకున్న బంధాలే! ప్రోటీను గొలుసులో మడతలు పడటానికి ఈ బంధాలు ఎలా సహకరిస్తాయో ఈ బొమ్మలో మరోసారి చూడండి. కణ ద్రవ్యం నీటి ఆధారమైనది కాబట్టి, దానిలో ఉండే ప్రోటీన్లలో నీటిభయం గ్రూపులూ, వాటి మధ్య ఏర్పడిన బంధాలూ నీటికి దూరంగా గోళాకారం లోపల ఉంటాయి. ఉదజని, ఆయాను బంధాలను నిర్మించగల గ్రూపులూ, వాటిమధ్య ఏర్పడిన బంధాలూ గోళాకారం ఉపరితలంలో కణ ద్రవ్యం వైపు ఉంటాయి. బంధాలు ఏర్పడకుండా ఖాళీగా ఉన్న గ్రూపులు తగిన బంధాలను నీటితో ఏర్పరచుకుంటాయి. ఏదైనా సరైన బంధం ఏర్పరచుకోగల పదార్థం ఎదురైతే నీటిని వదిలేసి, ఆ పదార్థంతో బంధాన్ని ఏర్పరచుకుంటాయి.

మొదట తయారైనప్పుడు ఒక గొలుసులాగా ఉండే ప్రోటీను మనం చెప్పుకున్న బంధాల ద్వారా గోళాకారానికి వస్తుంది. అయితే అలాంటి గోళాకారాలు ఎన్నో తయారు కావచ్చు. (మనం ఒక కాగితాన్ని ఎన్నో విధాలుగా నలిపి ఉండలాగా చెయ్యగలం కదా) కానీ వాటిలో ఒక్కటి మాత్రమే ఆ ప్రోటీను చెయ్యవలసిన పనికి తగిన రూపం. ఆ రూపం ఏర్పడితేనే ఆ ప్రోటీను కణంలో తన పని చెయ్యగలదు[3]. లేకపోతే, కణం ఆ పనికిరాని ప్రోటీనును విరగ్గొట్టి, ఎమినో ఆమ్లాలను విడదీసి ముడిసరుగ్గా వాడుకుంటుంది (recycle). కొన్ని వేల రకాల రూపాలలో పనికొచ్చే ఒక్క రూపమే ఎలా తయారవుతుంది? ఒక ప్రోటీను యొక్క ఎమినో ఆమ్లాల వరుసలోనే దాని తుది రూపానికి అవసరమైన మడతలు నిక్షిప్తమై ఉన్నాయని అంటారు శాస్త్రవేత్తలు. కొన్ని ప్రొటీన్ల విషయానికొస్తే, ఒక్క తుది రూపం కాకుండా, పనికొచ్చే రెండు తుది రూపాలు ఉంటాయి.




4వ బొమ్మ: పెప్ టైడ్ బంధాల ఏర్పాటు

ఒక్కోసారి పనికి తగిన రూపం ఏర్పడటానికి ఒక ప్రొటీన్లో ఒకేఒక గొలుసుకాక, రెండు, మూడు, నాలుగు లేక ఇంకా ఎక్కువ గొలుసులు (polypeptides)[4] కలిసి ఒక ప్రోటీను ఏర్పడుతుంది. వాటి మధ్య మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్న బంధాలు ఏర్పడి పనికొచ్చే ప్రోటీను ఏర్పడుతుంది. ఇక్కడకూడా చాలా ప్రోటీన్ల విషయంలో కొన్నివేల రూపాలు ఏర్పడే అవకాశం ఉన్నా పనికొచ్చే తుది రూపం ఒక్కటే ఉంటుంది. కొన్ని ప్రొటీన్ల విషయంలో రెండు రూపాలు ఉంటాయి.

[2] వంద కోతులు ఒకదాని చెయ్యి ఒకటి పట్టుకుని నిలబడ్డాయనుకుందాం. అవి అటువైపు చూస్తున్నాయి. మనం వాటి వెనుక ఉన్నాం. ఎడమవైపు ఉన్న చివరి కోతికి ఎడమ చేయి, కుడివైపు ఉన్న చివరి కోతికి కుడి చేయి ఖాళీగా ఉంటాయి కదా అలాగే. [కోతుల విషయంలో రెండు చేతులు ఒకే రకంగా ఉంటాయి. ప్రోటీను గొలుసును తయారుచేసే ఎమినో ఆమ్లాల విషయం లో ఎడమవైపు చేతిని ఎమినో గ్రూపు అనీ, కుడివైపు చేతిని కార్బోక్సిలు గ్రూపు అనీ అంటారు.] పైగా ఒక్కొకోతికి ఒక్కో విశిష్టమైన తోక ఉందనుకుందాం. మనం ప్రొటీను గొలుసులో R భాగం అంటున్నామే అది ప్రతి ఎమినో ఆమ్లంలో విశిష్టంగా ఉంటుంది, కోతుల తోకలు వేరు వేరుగా ఉన్నట్లు. ఈ ఎమినో ఆమ్లాల తోకలను **పక్క గొలుసులు** (side chains) అంటారు.

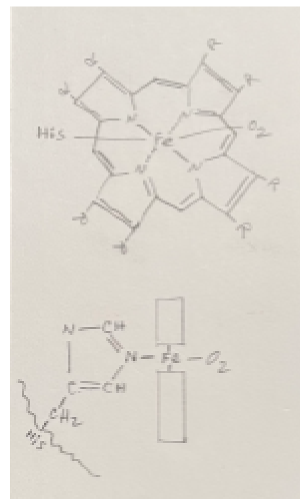
[3] కణంలో ప్రొటీన్లు చాలాపనులు చేస్తాయి: **ఉత్ప్రేరకాలు**గా (catalysts), **రూపాన్నిచ్చేవి**గా (structural proteins), **ఆత్మరక్షణ** కల్పించేవిగా (immunoglobulins), **రవాణాదారులు**గా (transporters) ఇలా ఎన్నోరకాల పనులు చేస్తాయి.

[4] ప్రొటీను అని ఎప్పుడంటారు? పాలిపెప్టైడు అని ఎప్పుడంటారు? నిజానికి ఒక నిర్దిష్టమైన కొలత అంటూ లేదు. యాభై కంటే తక్కువ ఎమినో ఆమ్లాల నుండి తయారైనదాన్ని పాలిపెప్టైడు అనీ, ఇంకా పెద్దదైతే ప్రోటీను అని రాయడం మామూలు. గొలుసులాగా ఉన్న దాన్ని పోలిపెప్టైడు అనీ, పనికొచ్చే తుదిరూపంలో ఉన్న దాన్ని ప్రోటీను అనీ అనడం కూడా ఒక మామూలు.

# హీమోగ్లోబిను

ఈ నేపథ్యంతో మనం అసలు మాట్లాడుకోవాల్సిన ప్రోటీను గురించి చెప్పుకుందాం. మన శరీరంలో రక్తంలో ప్రవహిస్తూ ప్రతి కణానికీ ప్రాణవాయువుని **(ప్రా.వా., $O_2$)** అందించేవి ఎర్ర కణాలు. శరీర కణాల్లో దాదాపు 80 శాతానికి పైగా ఉండే ఈ కణాల్లో హీమోగ్లోబిను (hemoglobin) అనే ప్రోటీను ఉంటుంది. ప్రతి ఎర్ర కణంలో దాదాపు 270 మిలియన్ల (27 కోట్ల) హిమోగ్లోబిను అణువులు ఉంటాయి. కణంలో ప్రా.వా. ను మోసుకొచ్చేది ఈ హీమోగ్లోబినే. రక్తం ఊపిరితిత్తులకు చేరుకున్నప్పుడు హీమోగ్లోబిను ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటుంది. అక్కడనుంచి రక్తంలో శరీరవ్యాప్తంగా ప్రవహిస్తూ అన్ని అవయవాలకు చేరుతూ, ప్రతికణానికీ ప్రా.వా. ను అందజేస్తుంది. నిజానికి విరామంగా ఉన్న కండరాలకు తక్కువగా, వ్యాయామం చేస్తున్న కండరాలకు ఎక్కువగా అందజేస్తుంది. ఇక హీమోగ్లోబిను అవయవాల కణాల్లోనుండి **బొగ్గుపులుసు వాయువు** లేదా కురచగా **బొ.వా.** (carbon dioxide) ను తీసుకుని మళ్ళా ఊపిరితిత్తులకు చేరుతుంది. అక్కడ దాన్ని వదిలేసి, ప్రా.వా. ను తీసుకుంటుంది. ఇదీ క్లుప్తంగా హీమోగ్లోబిను చేసే పని. మరి ప్రా.వా. ను అవసరమైన చోట వదిలెయ్యాలని హీమోగ్లోబినుకు ఎలా తెలుసు?

హీమోగ్లోబినులో నాలుగు పోలిపెప్టైడు గొలుసులు ఉంటాయి: రెండు ఏ రకాలు (alpha), రెండు బీ రకాలు (beta). ఏ లో 141 ఎమినో ఆమ్లాలూ, బీ లో 146 ఎమినో ఆమ్లాలూ ఉంటాయి. ఈ నాలుగు పాలిపెప్టైడు గొలుసులూ మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్న ఉదజని, అయాను, నీటిభయం బంధాల ద్వారా జతపడి ఉంటాయి. ప్రొటీన్లు చాలారకాల పనులు చేస్తాయని మనం ఇదివరకే చెప్పుకున్నాం, కానీ ఎమినో ఆమ్లాలద్వారా తయారయిన గొలుసులు వాటంతట అవే చాలా పనులు చెయ్యలేవు. కొన్ని ప్రొటీన్లకు నేరుగా అతుక్కున్న లోహపు అయాన్లు సహకరిస్తాయి, మరి కొన్ని చోట్ల లోహపు అయాను ఉన్న పదార్థం ఒకటి ప్రోటీనుకు సహకరిస్తుంది. కొన్ని చోట్ల లోహపు అయాను లేని పదార్థాలు ప్రొటీన్లకు అతుక్కుని సహకరిస్తాయి. బాగా బలంగా, ఒక్కోసారి సహబంధం ద్వారా అతుక్కున్న పదార్థాన్ని ప్రొస్తెటిక్ గ్రూపు (prosthetic group) అనీ, ఇతర బంధాల ద్వారా అతుక్కున్న సమూహాన్ని **సహకారకం** (cofactor, తోడ్పడే పదార్థం లేక **తోడ్పరి**) అనీ అంటారు. తోడ్పడే పదార్థాల్లో ముఖ్యమైనవి వైటమిన్లు, లేక వాటినుండి తయారయిన పదార్థాలు. హీమోగ్లోబిను విషయానికొస్తే, దానికి ఇనుము అయాను అవసరం. ఆ ఇనుము అయాను **హీము** (heme) అనే పదార్థంలో ఉంటుంది. ఒక్కో హీమోగ్లోబిను గొలుసులో ఒక్క హీము ఉంటుంది. అంటే హీమోగ్లోబినులో మొత్తం నాలుగు హీములు ఉంటాయి. ప్రతి గొలుసులోనూ, ఈ హీము **హిస్టిడిను** (histidine) అనే ఎమినో ఆమ్లానికి సహబంధం ద్వారా స్థిరంగా అతుక్కుని ఉంటుంది. అంటే ఇదొక ప్రొస్తెటిక్ సమూహం అన్న మాట.



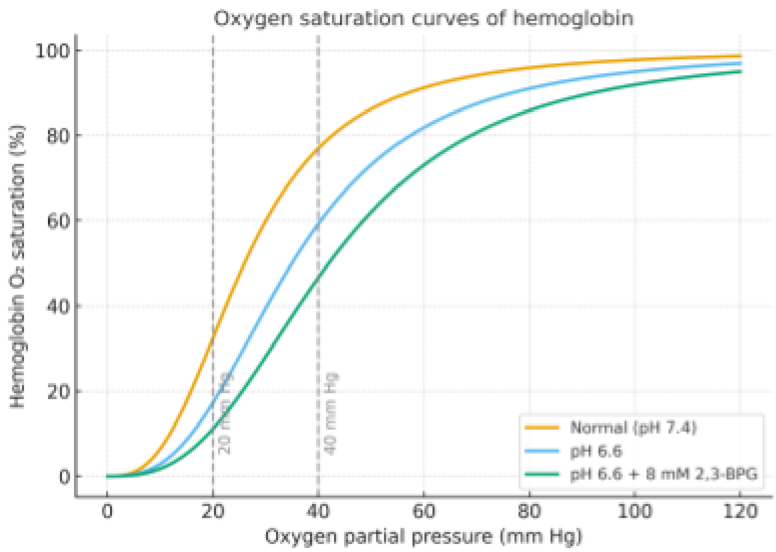

5వ బొమ్మ: హీమోగ్లోబిన్ లోని ఒక హీమును పైనుంచి చూస్తే పైబొమ్మ, పక్కనుంచి చూస్తే కింది బొమ్మ

అలా ఏర్పడిన హీమోగ్లోబిను రెండు రూపాల మధ్య **సమతుల్యం** (equilibrium) లో ఉంటుంది. ఆ రెండు రూపాలను రెండు స్థితులు అనవచ్చు. వాటిని T స్థితి, R స్థితి అంటారు. T అంటే tense, బిగుతుగా ఉన్న రూపం. దీనిలో నాలుగు గొలుసుల మధ్య చాలా అయాను బంధాలు ఉంటాయి. ప్రా. వా. మీద బిగుతి స్థితికి పెద్దగా ఆకర్షణ లేదు. R అంటే relaxed, సడలిన, వదులుగా ఉన్న రూపం. బిగుతి స్థితి లో ఉండే అయాను బంధాలు దీనిలో ఉండవు. దీనికి ప్రా. వా. మీద బిగుతి స్థితి కంటే దాదాపు 25 రెట్లు ఎక్కువ ఆకర్షణ ఉంటుంది.

ప్రా.వా. లేని చోట హీమోగ్లోబినును చూస్తే, అది ఎక్కువగా బిగుతు స్థితిలో ఉంటుంది. ప్రతి పదివేల బిగుతు అణువులకు ఒక్క వదులు స్థితిలో ఉన్న అణువు మాత్రమే ఉంటుంది. బిగుతు అణువులకూ ప్రా.వా. కూ మధ్య పెద్దగా ఆకర్షణ లేదు. గాలిలో దాదాపు 21% ప్రా.వా. ఉంటుంది. అంటే దాదాపు 160 మిమీటర్ల ఒత్తిడి (mm Hg). గాలి ఊపిరి తిత్తుల్లోకి వచ్చేసరికి, నీటి తేమ కలవడం వలన అది 100 మిమీ లకు పడిపోతుంది. రక్త నాళాల్లో ప్రవహిస్తూ ఊపిరితిత్తుల్లోకి చేరిన హీమోగ్లోబిను బిగుతు అణువులు ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటాయి. అది ఇదివరకు మనం చెప్పుకున్న హీములో ఉన్న ఇనుము అయాన్లకు అతుక్కుంటుంది. కానీ బిగుతు అణువులకూ ప్రా.వా.కూ మధ్య పెద్దగా ఆకర్షణ లేకపోవడం వలన చాలా కొద్ది అణువులు మాత్రమే ప్రా.వా. ను తీసుకుంటాయి. మిగతావి అలాగే

ఖాళీగా రక్తంలో తిరుగుతూ ఉండాల్సిందే. కానీ నిజానికి అలా జరగదు. దాదాపుగా ప్రతి హీమోగ్లోబిను అణువూ ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటుంది. ఎలా?

ఫ్రాన్స్ శాస్త్రవేత్తలు మోనో, వైమన్, షాంజ (Monod, Wyman, Changeux, MWC ) ఒక ప్రతిపాదన చేశారు. ఒక బిగుతు రూపానికి ఉన్న నాలుగులో ఏ హీము మీదైనా ప్రా.వా. అతుక్కోగానే హీమోగ్లోబిను మొత్తం వదులు రూపంగా మారుతుంది. అంటే, సమతులనం వదులు వైపు మొగ్గు చూపుతుంది. హీములున్న నాలుగు చోట్లా ప్రా.వా. మీద ఆకర్షణ పెరుగుతుంది. దీన్ని **all or none model** అంటారు. అంటే అణువు అంతా బిగుతు స్థితి లో ఉండాలి లేక వదులు స్థితి లో ఉండాలి. మధ్యస్థంగా ఉండటానికి వీలులేదు. అదీ MWC వారి ప్రతిపాదన. సమతుల్యంలో మార్పు రావడం, దానికి తోడు ఈ all or none కారణం వలన, ఊపిరి తిత్తులకు చేరిన ప్రతి హీమోగ్లోబిను అణువూ వేగంగా బిగుతు నుండి వదులుకు మారుతుంది. వదులు కి ప్రా.వా. మీద ఆకర్షణ ఎక్కువ కాబట్టి, త్వరలో దాదాపు ప్రతి అణువు (98 శాతం, ఆరవ బొమ్మలో నారింజ రంగు గీత) ప్రా.వా. తో నిండిపోతుంది. అవి ఊపిరితిత్తులనుండి శరీరావయాలకు చేరుతాయి. ఇక అంత గట్టిగా పట్టుకున్న ప్రా. వా. ను అవయవ కణాలకు చేరినప్పుడు ఎందుకు వదిలేస్తాయో చూద్దాం.




6వ బొమ్మ: పలు పరిస్థితులలో ప్రాణ వాయువుతో నిండిపోయే హీమోగ్లోబిన్ (chatGPT)

## శరీర కణాల్లో ప్రాణవాయువు విడుదల

ఐదవ బొమ్మను మరోసారి చూడండి. అందులో రెండు నిలువు గీతలున్నాయి ఒకటి 40 మిమీ దగ్గర, మరొకటి 20 మిమీ దగ్గర. మామూలుగా విశ్రాంతిగా ఉన్న కండరాల్లో ప్రా. వా. ఒత్తిడి 40 మిమీ ఉంటుంది. వ్యాయామం చేస్తున్న కండరాల్లో 20 మిమీ వరకు పడిపోతుంది. ఆ రెండు గీతల వద్ద ఎంత శాతం హీమోగ్లోబిను మీద ప్రా. వా. ఉంటుందో గమనించండి. అది దాదాపుగా 75% (40 మిమీ ), 35% (20 మిమీ) ఉంటుంది. అంటే ఊపిరితిత్తులనుండి వచ్చేటప్పుడు 98% హీమోగ్లోబినులమీద ప్రా. వా. ఉంటే కండరాలకు చేరగానే 75% మీదనే ఉంటుంది. అంటే మిగతా 23% (98-75=23) ప్రా. వా. ను విడిచి పెడతాయి. గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాలకు చేరినప్పుడు దాదాపు 63% (98-35=63) ప్రా. వా. ను వదిలేస్తాయి. అంటే ఉన్న చోట తీసుకుని, లేనిచోట ఇస్తుంది హీమోగ్లోబిను. ప్రా. వా. కండరాలకు చేరడానికి ముఖ్యమైన కారణం ఊపిరితిత్తుల్లో, కండరాల్లో దాని ఒత్తిడిలో ఉన్న తేడానే. మిగతా శరీర అవయవాలకు కూడా ఇదే వర్తిస్తుంది.

## ఆమ్లత

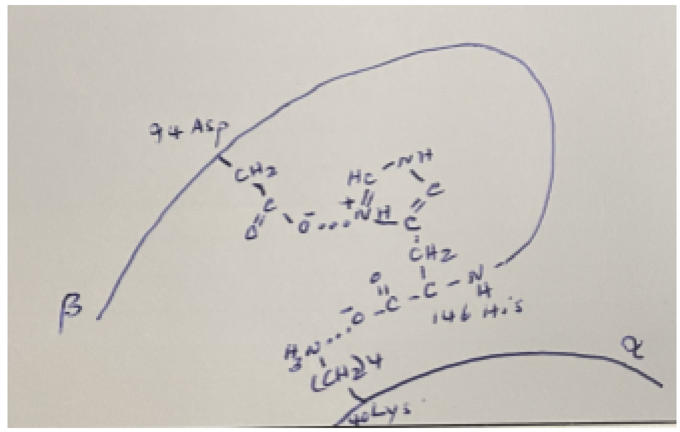
మరో కారణం అయాను బంధాలు. వీటి గురించి మనం ఇంతకు ముందే మాట్లాడుకున్నాంగాని అవి ఎందుకు ఎలా ఏర్పడతాయో చూడలేదు. అది తెలుసుకోవాలంటే ఆమ్లాల గురించి కొంచెం లోతైన వివరణ అవసరం. ఆమ్లం అంటే $\mathbf{H^+}$ ని విడుదల చేసేది అని అర్థం. ఉదాహరణకు వినెగర్ ఆమ్లం:

$$CH_3COOH \leftrightharpoons CH_3COO^- + \mathbf{H^+}$$

($H^+$ అంటే H మీద పాజిటివు చార్జి ఉన్నది అని)

మన శరీర కణాల్లో గ్లూకోజు నుండి శక్తిని బయటకు తీసే క్రమంలో పైరూవిక, లాక్టిక, సిట్రిక, ఇంకా ఇతర ఆమ్లాలు తయారవుతాయి. వీటి వలన కణాల్లో **ఆమ్లత** (acidity) పెరగవచ్చు. అయితే ఇవి నిలువ ఉండవు. వీటిని వేగంగా బొగ్గుపులుసు వాయువుగా, నీరుగా మార్చి, ఆ క్రమంలో వీటిలోని శక్తిని బయటకు తీసి వాడుకుంటుంది కణం. ఎంత వేగంగా వాడినా గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరంలో ఏ క్షణంలోనైనా ఎంతో కొంతైనా ఈ ఆమ్లాలు ఉండక తప్పదు. అందువల్ల ఎంతో కొంత ఆమ్లత, అంటే $H^+$ సాంద్రణ[5] ఉండక తప్పదు. ఆమ్లత పరిమాణానికి pH అనే కొలతను వాడతారు. ఆమ్లత పెరిగే కొద్దీ pH తగ్గుతుంది. మన శరీర కణాలలో pH దాదాపుగా 7.4 ఉంటుంది. విరామంలో ఉన్న కండరాల్లో 7.0 దాకా, గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాల్లో 6.6 దాకా పడిపోవచ్చు. ఆమ్లత పెరిగే కొద్దీ హీమోగ్లోబిను ప్రా.వా.ను విడుదల చేయడం పెరుగుతుంది. దీన్ని మనం ఇదివరకు చూసిన బొమ్మలో చూడవచ్చు (ఆకాశం రంగు గీత). దీనికి కారణం ఇప్పుడు చూద్దాం.

ఏ ప్రొటీనులోనైనా కుడి చివరి ఆమ్లంలో ఉండే కార్బోక్సిలు గ్రూపు (-C(=O)-O⁻) మీద నెగటివు చార్జి ఉంటుంది. అంతే గాక అస్పార్టిక, గ్లూటామిక అనే ఆమ్లాల మీద పక్క గొలుసుల్లో ఒక కార్బోక్సిలు గ్రూపు ఉంటుంది. వాటిమీద నెగటివు చార్జి ఉంటుంది. ఇక **ఆర్జినిను** (arginine), **లైసిను** (lysine) అనే ఆమ్లాల పక్క గొలుసులమీద ఎమినో గ్రూపు ఉంటుంది. దానిమీద పాజిటివు చార్జి ఉంటుంది. ఇలా పాజిటివు, నెగటివు ఛార్జీలు ఉన్న గ్రూపులు ఒకదానికొకటి దగరకు వస్తే వాటి మధ్య ఆయాను బంధం ఏర్పడుతుంది. ప్రొటీను గొలుసులలో అక్కడక్కడా **హిస్టిడిను** (Histidine) అనే ఎమినో ఆమ్లం ఉంటుంది. హీమోగ్లోబినులో ఉండే రెండు బీ. గొలుసులలో ఇది చివరి ఆమ్లం (His146)[6]. దీనిలో ప్రత్యేకత ఏంటంటే దీని పక్కగొలుసులో ఉన్న N మీద మామూలుగా కణాల్లో ఉండే ఆమ్లతలో (7.4) చార్జి ఉండదు. కానీ కండరాలలో ఉండే ఆమ్లతలో N మీద $H^+$ చేరుతుంది, అందువల్ల పాజిటివు చార్జి వస్తుంది. అప్పుడు ఇది దగ్గరలో ఉన్న నెగటివు చార్జితో ఆయాను బంధం ఏర్పరచుకోగలదు.




7వ బొమ్మ : హీమోగ్లోబిన్ గొలుసుల మధ్యన ఉన్న అయాను బంధాలు ప్రాణవాయువు చేరికతో వీడిపోతాయి

శరీరంలో ఏ అవయవానికి చేరినా హీమోగ్లోబిను కొంత ప్రా. వా. ను వదులుతుంది (ఒత్తిడి తేడాల కారణంగా) . కానీ గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాలకు చేరినప్పుడు రక్తనాళాలలో ఆమ్లత పెరగటం వల్ల (pH తగ్గడం వల్ల) ప్రా. వా.ను వదిలిన హీమోగ్లోబినులోని బీ. గొలుసుల చివర ఉన్న హిస్టిడిను $H^+$ ను పట్టుకుని పాజిటివు చార్జిని ఆకట్టుకుంటుంది. అదే గొలుసుమీద ఉన్న ఆస్పాటిక ఆమ్లం (Asp 94) మీద ఉన్న నెగెటివు ఛార్జితో అయాను బంధం ఏర్పరచుకుంటుంది. దీనితో ఆ బీ గొలుసులో కొంత వంపు వస్తుంది. దానివల్ల అదే హిస్టిడిను మీద ఉన్న నెగెటివు కార్బోక్సిలు గ్రూపు, ఏ. గొలుసు మీద ఉన్న లైసిను (Lys 40) యొక్క పక్క గొలుసు మీద ఉన్న ఎమినో గ్రూపు పాజిటివు చార్జికి దగ్గరై, మరొక ఆయాను బంధాన్ని ఏర్పరచుకుంటుంది. దీనితో (ఇంకా ఇలాంటి మార్పులు మరికొన్ని రావడం వల్ల) ఖాళీగా ఉన్న హీమోగ్లోబిను వదులు స్థితినుండి బిగుతు స్థితికి మారుతుంది. అంటే దానికి ఇప్పుడు ప్రా. వా. మీద ఆకర్షణ తగ్గిపోతుంది. అంటే మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్నామే బిగుతు కీ వదులు కీ మధ్య సమతులనం ఉంటుందని, అది ఊపిరితిత్తులలో వదులు వైపు మొగ్గుతుందనీ, ప్రా. వా. ను పట్టుకోవడానికి ఉపకరిస్తుందనీ. అదే సమతులనం ఇప్పుడు బిగుతు వైపు మొగ్గుతుంది. ప్రా. వా. ను విడిచిపెట్టడానికి సహకరిస్తుంది.

జాగ్రత్తగా గమనించాల్సింది ఏంటంటే, హీమోగ్లోబినులో ప్రా. వా. ఉండేది హీము మీద. ఆ హీము ఏ. గొలుసుల్లో 87 వ ఎమినో ఆమ్లానికీ, బీ. గొలుసుల్లో 92 వ ఎమినో ఆమ్లానికీ అతుక్కుని ఉంటుంది. బీ. గొలుసుల చివర ఉన్న హిస్టిడిను (146 వ ఎమినో ఆమ్లం)

---

[5] **సాంద్రత** = Density, దీన్ని grams/$cm^3$ గా కొలుస్తారు; **సాంద్రణ** = Concentration, దీన్ని మోల్స్/లీటర్ (M) గా, లేక మిల్లీమోల్స్/లీటర్ (mM) గా కొలుస్తారు.

[6] ఈ గొలుసులో మొత్తం 146 ఎమినో ఆమ్లాలు ఉన్నాయి.

| ఎత్తు | ప్రా వా ను పట్టుకున్న హీమోగ్లోబిను శాతం | కండరాల్లో ప్రా వా విడుదల శాతం |
|---|---|---|
| సముద్రమట్టం | 98 | 45 |
| ఒకేసారి 5,000 అడుగులు | 80 | 25 |
| క్రమంగా 5,000 అడుగులు | 70 | 40 |
| | | |

రెండిటికీ దూరంగా ఉంది. అయినా దానికి $H^+$ చేరడం వల్ల అది పరోక్షంగా హీమోగ్లోబినుకు ప్రా. వా. మీద ఉన్న ఆకర్షణను తగ్గించి దాని విడుదలకు సహకరిస్తుంది. దీన్నే మోనో **ఎల్లోస్టీరిక్ నియంత్రణ** అన్నది. ప్రొటీను మీద ఒక చోట జరిగే మార్పు దాని మీద మరో చోట పరోక్షంగా ప్రభావం చూపడం. ఆమ్లతలో మార్పు వల్ల జరిగే ఈ మార్పును (ప్రభావాన్ని) బోర్ **(Bohr)** ప్రభావం అని కూడా అంటారు, డెన్మార్క్ దేశస్థుడు క్రిస్టియాన్ బోర్ దీన్ని మొదట గమనించాడు. ఆయన నీల్స్ బోర్ తండ్రి.

కణాల్లో ఆమ్లత పెరగడానికి కారణం గ్లూకోజు నుండి తయారయ్యే ఆమ్లాలేకాదు. బొగ్గుపులుసు వాయువు ($CO_2$) కూడా దీనికి కొంత కారణం అని చెప్పుకోవాలి. ఎందుకంటే గట్టిగా పనిచేస్తున్న అవయవాల్లో గ్లూకోజు వాడుక పెరుగుతుంది. దాన్నుంచి బొగ్గుపులుసువాయువు ఏర్పడుతుంది. అది నీటితో కలిసినప్పుడు, కార్బోనిక్ ఏన్హైడ్రేజు (Carbonic Anhydrase) అనే ఎంజైము ద్వారా కార్బోనిక ఆమ్లం తయారవుతుంది. అయితే శరీరంలో కార్బోనిక ఆమ్లం స్థిరంగా ఉండదు. వెంటనే $H^+$ ను వదిలేస్తుంది.

$$CO_2 + H_2O \leftrightharpoons H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+$$

ఇలా విడుదల అయిన $H^+$ కూడా ఆమ్లత పెరగడానికి కారణం అవుతుంది, హీమోగ్లోబిను మీదున్న హిస్టిడినుకు అతుక్కుని సమతులనం బిగుతు స్థితి వైపు మొగ్గేలా చేస్తుంది, అంటే ప్రా. వా. విడుదలకు సహకరిస్తుంది.

**2,3,-బీపీజీ (2,3,-BPG, 2,3,-Bisphosphoglycerate)**

హీమోగ్లోబిను మీద ఎల్లోస్టీరిక్ ప్రభావం ఉండటానికి ఆమ్లతే కాదు, మరో కారణంగా కూడా ఉంది. ఎర్ర కణాలలో గ్లూకోజు నుండి పైరువిక లేదా లాక్టిక ఆమ్లం తయారయ్యే క్రమంలో 2,3-బీపీజీ (ఇకనుండి బీపీజీ) అనే ఒక అణువు కూడా కొంత తయారవుతుంది. మామూలుగా ఎర్ర కణాల్లో దీని సాంద్రణ దాదాపుగా 5 mM ఉంటుంది. ఈ బీపీజీ ప్రత్యేకత ఏంటంటే దీని మీద ఐదు నెగెటివు చార్జీలు ఉంటాయి. ఇది బిగుతు స్థితిలో ఉన్న హీమోగ్లోబిను బీ గొలుసుల మధ్య ఉన్న ఒక చోట (ఒక చిన్న సొరంగం లాంటి చోట) అక్కడి ఎమినో ఆమ్లాల పక్క గొలుసుల మీద ఉన్న పాజిటివు చార్జీలతో అయాను బంధాలు ఏర్పరచుకుంటుంది[7]. మనం మొదట చెప్పుకున్నామే, ప్రొటీను ఒక పదార్థానికి అతుక్కోవడానికి రెండిటి మధ్య తగిన రూపం ఉండాలనీ, వాటి మధ్య రసాయనిక బంధాలు ఏర్పడాలనీ. హీమోగ్లోబినూ, బీపీజీ ల మధ్య బంధం ఏర్పడటం దీనికి చక్కటి ఉదాహరణ. వీటి మధ్య బంధం ఏర్పడినప్పుడు బిగుతు స్థితి స్థిరపడుతుంది. దానివల్ల ఇంతకు ముందు మనం చెప్పుకున్న సమతులనం బిగుతు వైపు మొగ్గుతుంది. అంటే, పరోక్షంగా హీమోగ్లోబిను నుంచి ప్రా. వా. విడుదలకు సహకరిస్తుంది. దీన్ని మనం ఇదివరకు చూసిన బొమ్మలో ఆకుపచ్చ రంగు గీతలో చూడవచ్చు. ఇది మరో ఎల్లోస్టీరిక్ ప్రభావం.

[7] ప్రా వా ను పట్టుకుని R స్థితిలోకి మారిన హీమోగ్లోబినులో రెండు బీ గొలుసుల మధ్య ఉన్న చోటు (సొరంగం) తగ్గి పోతుంది. అక్కడ 2,3,-బీపీజీ పట్టదు.

[ **పిట్ట కథ**: పర్వతాలు ఎక్కేవాళ్ళు ఒకేసారి కాకుండా చాలా రోజులు తీసుకుంటారనీ, క్రమంగా పైకి ఎక్కుతారనీ వినే ఉంటారు. అలా కాకుండా హెలికాప్టరు ఎక్కి పర్వత శిఖరాన దిగితే గాలి పీల్చడానికి ఇబ్బందిపడతారు. శిఖరం ఎత్తునుబట్టి, గాలిచాలక చనిపోవచ్చు కూడా. 5,000-6,000 అడుగుల ఎత్తు ఉన్న శిఖరం మీద ప్రా.వా. ఒత్తిడి 100 మిమీ నుండి 50 మిమీ లకు పడిపోవచ్చు. ఆ స్థితిలో హీమోగ్లోబిను తక్కువ ప్రా. వా. ను పట్టుకుంటుంది. అంటే శరీరకణాలకు తక్కువ ప్రా. వా. అందుతుంది. పర్వతం ఎక్కడానికి కొన్ని రోజులు తీసుకునే వారి శరీరంలో నిదానంగా మార్పులు జరుగుతాయి. వాటిలో ఒకటి ఎర్రకణాల్లో బీపీజీ సాంద్రణ 5 mM నుండి దాదాపు 8 mM దాకా పెరగడం. దాని ప్రభావం వల్ల హీమోగ్లోబిను మీద ఉన్న ప్రా. వా. మామూలు కంటే ఎక్కువగా విడుదల అవుతుంది.

ఉదాహరణకు, సముద్రమట్టాన ఉన్న ప్రదేశంలో 98% హీమోగ్లోబిను అణువులు ప్రా వా ను మోసుకొస్తే, వాటిలో విశ్రాంతిగా ఉన్న కండరాలకు చేరినప్పుడు (40 మిమీ) 45% దాన్ని విడుదల చేస్తాయి. కానీ 5,000 అడుగుల ఎత్తున ఉన్న ప్రదేశంలో గాలి తక్కువగా ఉండి 80% హీమోగ్లోబినుల మీద మాత్రమే ప్రా. వా. ఉంటుంది. అవి కండరాలకు చేరినప్పుడు 25% మాత్రమే దాన్ని వదిలేస్తాయి. 5,000 అడుగులు చేరడానికి కొన్ని రోజులు తీసుకున్న వారిలో బీపీజీ పెరగడం వల్ల హీమోగ్లోబిను ప్రాణవాయువును పట్టుకోవడం తగ్గి, 70% మాత్రమే దాన్ని పట్టుకోగలుగుతాయి, కానీ అవి కండరాలకు చేరినప్పుడు, మళ్ళా బీపీజీ ప్రభావం వల్ల వాటిలో 40% దాన్ని విడుదల చేస్తాయి. అంటే కండరాలకు దాదాపుగా సముద్రమట్టాన అందేటంత ప్రా. వా. ఇక్కడకూడా అందుతుంది. ఈ ఒక్క మార్పే కాకుండా గాలి తక్కువగా ఉన్న చోటికి చేరినప్పుడు శరీరం ఎర్రకణాల ఉత్పత్తిని పెంచుతుంది. అంటే ఎక్కువ హీమోగ్లోబినును పనిలో పెడుతుంది. అందువల్ల ఎత్తుగా ఉన్న ప్రదేశానికి అలవాటు పడిన వారి శరీరానికి ప్రా. వా. మామూలుగా సముద్రమట్టాన ఉన్నవారికి లాగానే చేరుతుంది. ]

## దూరపు సంబంధాలు

హీమోగ్లోబిను మీద ఆమ్లత, బీపీజీ ల ప్రభావాన్ని ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావం అంటారని చెప్పుకున్నాం. అంటే అవి రెండూ ప్రోటీను మీద ఎక్కడో అతుక్కుని, పరోక్షంగా, సమతుల్యతమీద వాటికున్న ప్రభావం వల్ల, మరోచోట ప్రా. వా. అతుక్కోవడాన్ని తగ్గిస్తాయి. కానీ మీకు గుర్తుందో లేదో, ఒక హీము మీద చేరిన ప్రా. వా. మిగతా మూడు హీముల మీద ప్రా. వా. అతుక్కోవడాన్ని సులభతరం చేసి వదులు స్థితి వైపు సమతుల్యతను మొగ్గేలా చేస్తుంది. ఒక పదార్థం ప్రోటీను మీద చేరి మరో పదార్థం అతుక్కోవడాన్ని ఎక్కువగానీ తక్కువగానీ చెయ్యడాన్ని హెటరో ట్రోపిక్ ఎల్లోట్రోపిక్ ప్రభావం అంటారు (ఇదీ $H^+$, బీపీజీ లు చేసేది) . అలా కాకుండా ప్రోటీను మీద చేరిన పదార్థం మరోచోట తానే అతుక్కోవడాన్ని ప్రభావితం చేస్తే దాన్ని హోమోట్రోపిక్ ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావం అంటారు (ఇదీ ప్రా.వా. చేసేది).

హీమోగ్లోబిను విషయంలో పై రెండు రకాల ప్రభావాలు ఉన్నా, ఎంజైముల విషయానికొస్తే, హోమోట్రోపిక్ ప్రభావం చాలా అరుదు. కారణం ఏంటంటే, ఎంజైములు ఒక పదార్థాన్ని (సబ్‌స్ట్రేటును) తీసుకుని రసాయనిక చర్య ద్వారా మరో పదార్థంగా (ప్రోడక్టు) మార్చుతాయి. అలా చెయ్యగలచోటు ఒక ఎంజైము అణువు మీద ఒక్క చోటే ఉంటుంది (దీనికి కొన్ని మినహాయింపులు ఉన్నాయి). అందువలన ఒకచోట అతుక్కున్న సబ్‌స్ట్రేటు దాన్ని మరోచోట అతుక్కోవడాన్ని నియంత్రించడం జరగదు. కానీ ఎంజైములు చేసే పనిని **పెంచగల**, **తగ్గించగల** పదార్థాలు (activators and inhibitors) ఉండటం మామూలు. అవి ఎంజైముమీద ఎక్కడో అతుక్కుని సబ్‌స్ట్రేటు అతుక్కోవడాన్ని నియంత్రిస్తాయి.

మన శరీరంలో దాదాపుగా అన్ని ముఖ్యమైన ఎంజైములూ ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావంలో ఉంటాయి. ఇంత ముఖ్యమైన నియంత్రణను జన్యు ఖండాల నియంత్రణ గురించి పరిశోధన చేస్తోండగా కనిపెట్టాడు మోనో! మీరు దాని గురించి వివరంగా తెలుసుకోవాలంటే గత సంచికలో చూడండి. (విజ్ఞాన భారతి, నవంబరు 2025).

* * *

---

ఇతర భాషలనుంచి అవసరమైన, ఉపయోగకరమైన మాటలను తీసుకోవడం వైజ్ఞానిక సాహిత్య వృద్ధికి ప్రయోజనకరమే. ఇంగ్లీషు భాషలో ఉన్న మాటల్లో దాదాపు డెబ్భయ్యయిదు శాతం అవసరాల కొద్దీ ఇతర భాషలనుండి తీసుకున్నవే! ఫ్రాన్స్ దేశస్థుడు **మోనో** గ్రీకు భాషనుండి తీసుకున్న మాట **(allosteric)** ఇప్పుడు ఇంగ్లీషులో అలాగే నిలిచిపోయింది!

మరో గ్రీకు మాట **πρῶτος (prōtos)** అంటే అతిముఖ్యమైనది అని అర్థం. దాన్నుంచే ఇంగ్లీషు మాట ప్రొటీను వచ్చింది. శరీరంలో ప్రోటీన్ల పాత్ర అతి ముఖ్యమైనదని గ్రహించి వాటికి ఆ పేరు పెట్టాడు స్వీడన్ దేశస్థుడు యాన్స్ యాకోబ్ బెర్సేలియుస్ **(Jons Jakob Berzelius).**

* * *

==========================================================================

శ్రీ ఆరి సీతారామయ్య గారు జీవరసాయన శాస్త్రం లో Ph.D. పట్టా పొంది, అమెరికాలో మిషిగన్ రాష్ట్రం లోని ఓక్లాండ్ విశ్వ విద్యాలయంలో బియోమెడికల్ సైన్సెస్ ఆచార్యులుగా పనిచేసి విరమించారు. ప్రస్తుత నివాసం హెరెండన్ పట్టణంలో (వర్జీనియా రాష్ట్రం).

==========================================================================