

A fehérjék hierarchikus szerkezete

Smeller László
Semmelweis Egyetem
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

Fehérjék felosztása

Biológiai funkció alapján

- Enzimek (pl.: tripszin, citokróm-c...)
- Transzportfehérjék (pl.: hemoglobin, mioglobin...)
- Védőfehérjék (pl.: ellenanyagok, interferonok...)
- Toxinok (pl.: ricin, kígyómérgek...)
- Hormonok (pl.: inzulin, növekedési hormon...)
- Kontraktilis fehérjék (pl.: miozin, aktin, dinein)
- Struktúrfehérjék (pl.: kollagén, elasztin ...)
- Taratlékfehérjék (pl.: ovalbumin, kazein, ferritin...)
- Egyéb (pl.: hisztonok...)

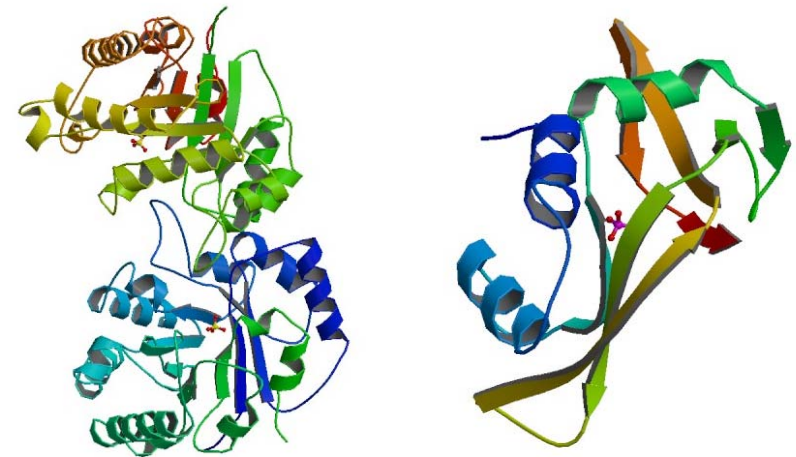
Fehérjék felosztása

Alak alapján

- Fibrilláris fehérjék (pl.: kollagén...)
- Globuláris fehérjék (pl.: hemoglobin, mioglobin...)
- Membránfehérjék (pl.: rodopszin...)

Másodlagos szerkezet alapján

- Kizárólag helikális (pl.: mioglobin...)
- Alfa/béta szerkezetű (pl.: Triózfoszfát-izomeráz...)
- Alfa+beta (pl.: ribonukleáz...)
- Kizárólag béta (pl.: tenascin...)



Alfa/béta szerkezetű (Triózfoszfát-izomeráz)

Alfa+beta (ribonukleáz)

Szerkezeti hierarchia

- Elsődleges szerkezet
- Másodlagos szerkezet
- Harmadlagos szerkezet
- Negyedleges szerkezet

Szupramolekuláris szerveződések

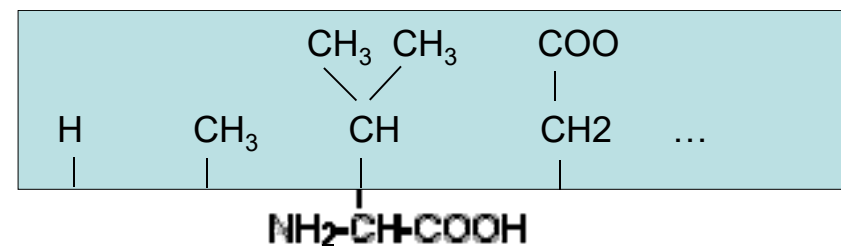
A fehérjék építőkövei az aminosavak

Az aminosavak

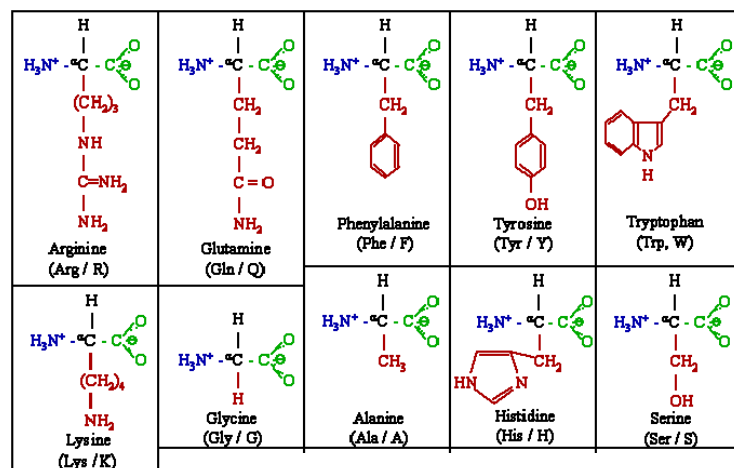
általános felépítése:



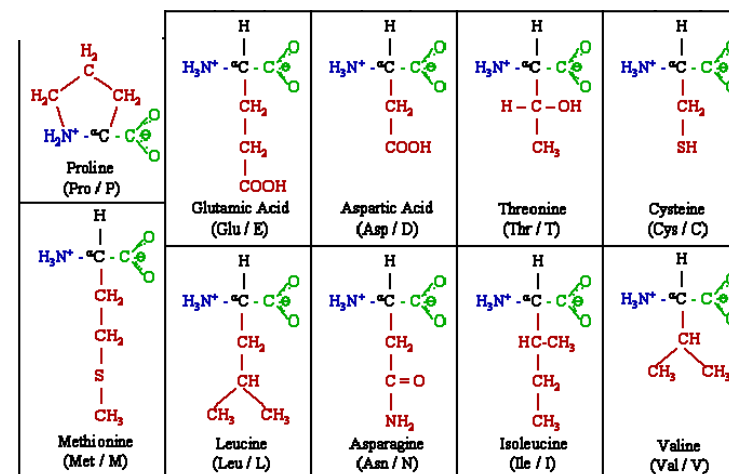
Szerkezeti variabilitás:



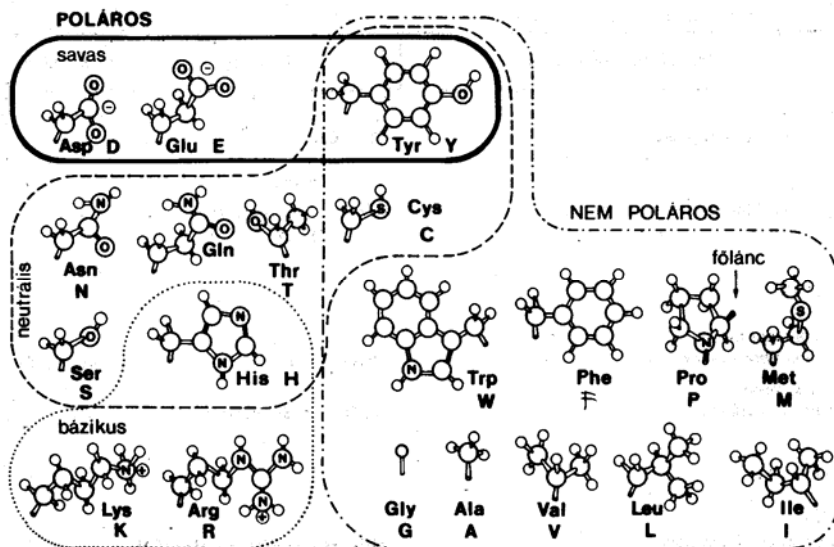
A fehérjékben előforduló aminosavak



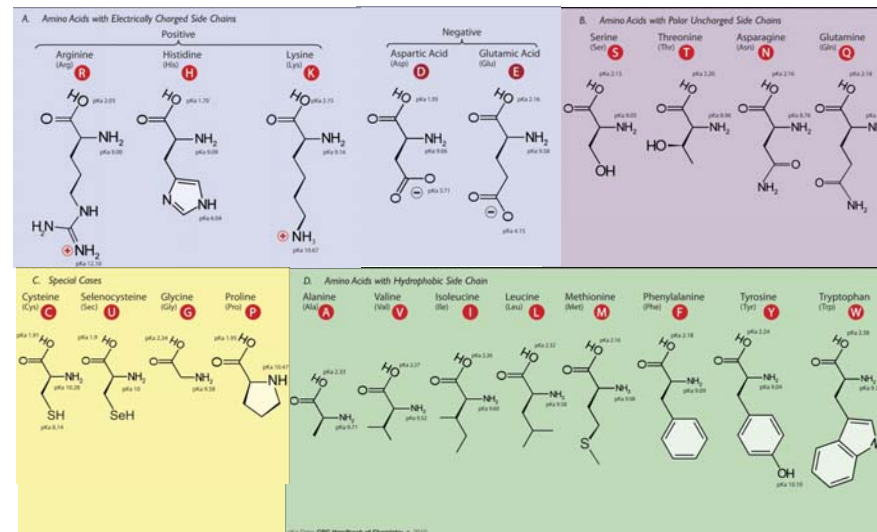
A fehérjékben előforduló aminosavak



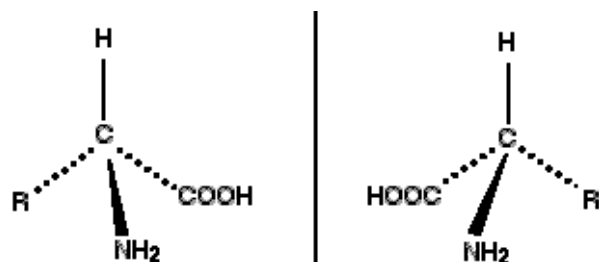
Az aminosavak tulajdonságai



Az aminosavak tulajdonságai



Kiralitás



Tükör

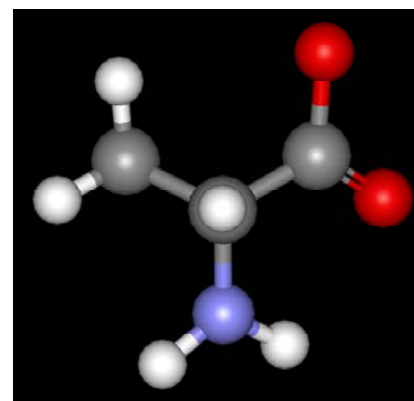
Kiralitásközpont:
egy szénatomhoz 4 különböző
atom ill. atomcsoport kapcsolódik

➡ Optikai aktivitás
(polarizációsík elforgatása)

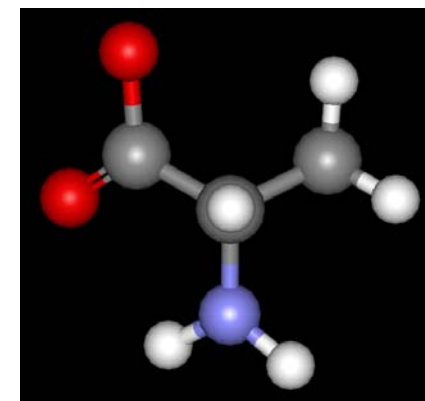
Kéz:



Kiralitás az alanin példáján

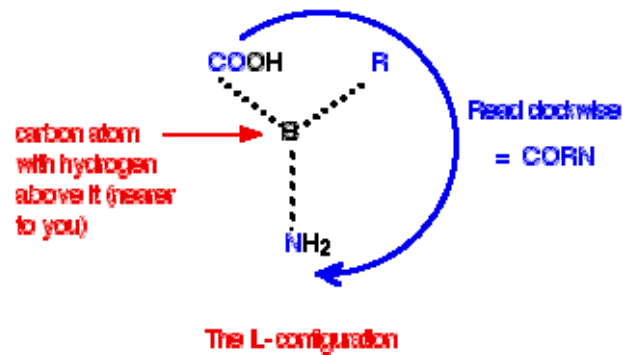


D



L

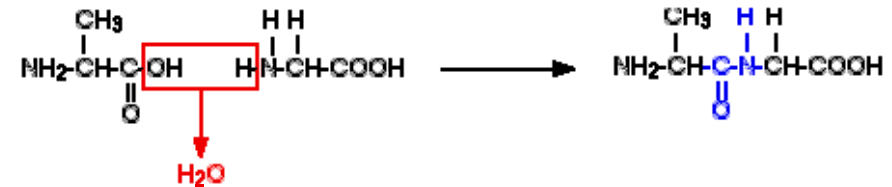
D és L enantiomerek



Élő szervezetekben: L módosulat

A polarizációs sík forgatásának iránya és L-D között nincs egyértelmű kapcsolat.
 Pl.: (+)alanin (-)cisztein (-)tirozin (+)valin

Aminosavak kapcsolódása: peptidkötés



Peptid 2.. kb 20 aminosav kapcsolódása (láncszerű molekula)

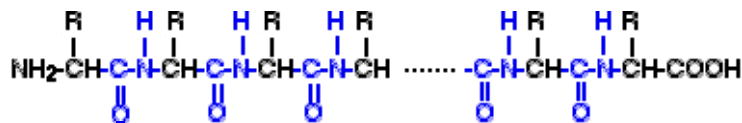
Fehérje több mint 20 aminosav kapcsolódása

Az elsődleges szerkezet

Elsődleges szerkezet:

az aminosavak sorrendje a polipeptid láncban

Milyen irányban? N terminális -> C-terminális



Pl: (mioglobin, 1YMB)

GLY LEU SER ASP GLY GLU TRP GLN GLN VAL LEU ASN VAL...

... ALA LYS TYR LYS GLU LEU GLY PHE GLN GLY

Példa: Mioglobin

Elsődleges szerkezet 3 betűs kóddal (153 as.):

GLY LEU SER ASP GLY GLU TRP GLN GLN VAL LEU ASN VAL
 TRP GLY LYS VAL GLU ALA ASP ILE ALA GLY HIS GLY GLN
 GLU VAL LEU ILE ARG LEU PHE THR GLY HIS PRO GLU THR
 LEU GLU LYS PHE ASP LYS PHE LYS HIS LEU LYS THR GLU
 ALA GLU MET LYS ALA SER GLU ASP LEU LYS LYS HIS GLY
 THR VAL VAL LEU THR ALA LEU GLY GLY ILE LEU LYS LYS
 LYS GLY HIS HIS GLU ALA GLU LEU LYS PRO LEU ALA GLN
 SER HIS ALA THR LYS HIS LYS ILE PRO ILE LYS TYR LEU
 GLU PHE ILE SER ASP ALA ILE ILE HIS VAL LEU HIS SER
 LYS HIS PRO GLY ASP PHE GLY ALA ASP ALA GLN GLY ALA
 MET THR LYS ALA LEU GLU LEU PHE ARG ASN ASP ILE ALA
 ALA LYS TYR LYS GLU LEU GLY PHE GLN GLY

Példa: Mioglobin

Elsődleges szerkezet 1 betűs kóddal (153 as.):

```
>1YMB:A | PDBID | CHAIN | SEQUENCE
```

```
GLSDGEWQQVLNVWGKVEADIAGHGQEV LIRLFTGHPETLEKFDKFKHLKTEAE  
MKASEDLKKHGT VVLTALGGILKKKGHHEAE LKPLAQSHATKHKIPIKYLEFIS  
DAIIHVLH SKHPGDFGADAQGAMTKALELFRNDIAAKYKELGFQG
```

(FASTA format)

Merev és elforgatható kötések a fehérje gerincén rotációs szabadsági fokok

Aminosavanként:

3 kötés

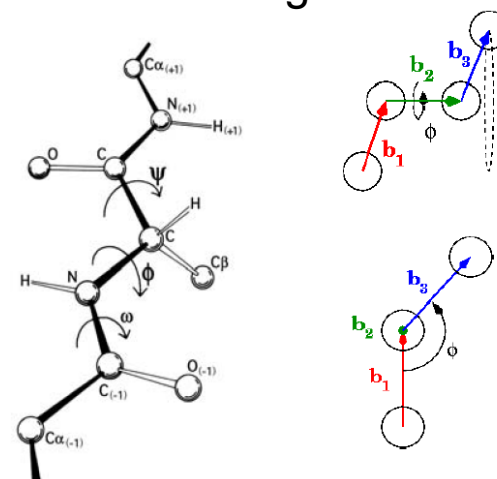
ebből:

1 fix (delokalizáció)

2 elforgatható:

Φ , Ψ dihedrális szögek

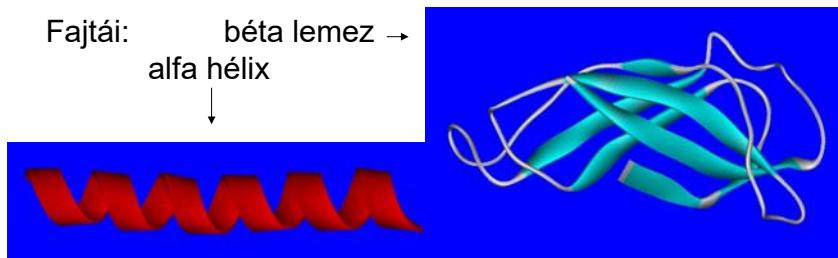
2N rotációs szabadsági fok: konformáció



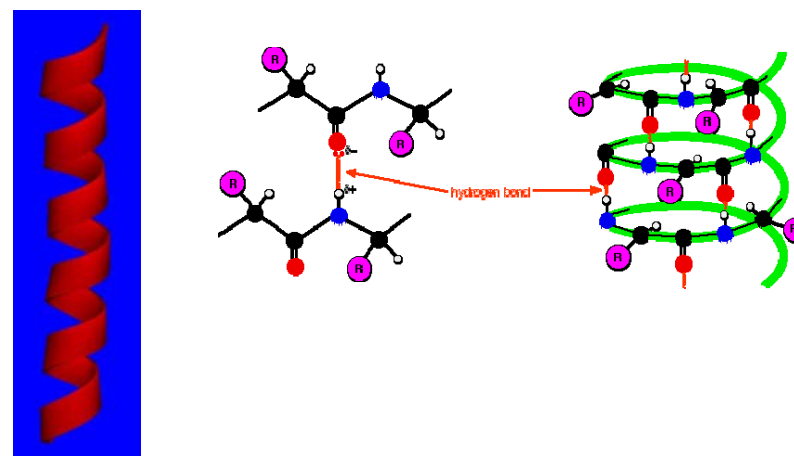
Másodlagos szerkezet

A másodlagos vagy szekunder szerkezeten a peptidgerinc hidrogénkötések által stabilizált **lokális** (legalább négy aminosavra kiterjedő) **rendezettségét** értjük.

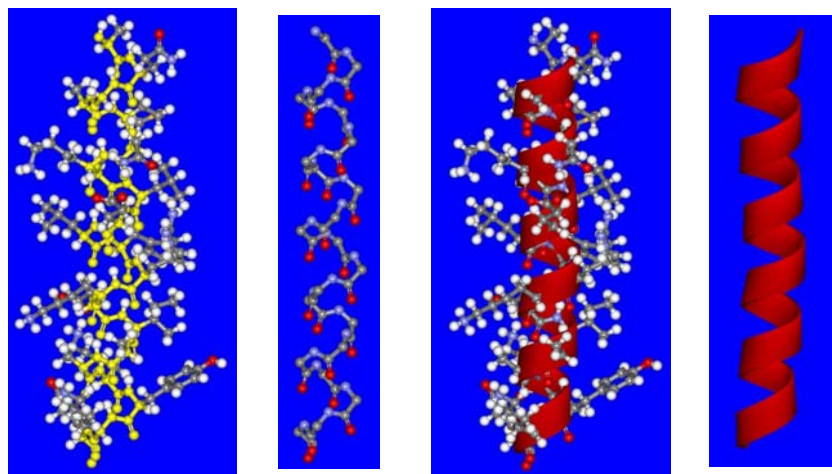
Fajtái: béta lemez →
 alfa hélix
 ↓



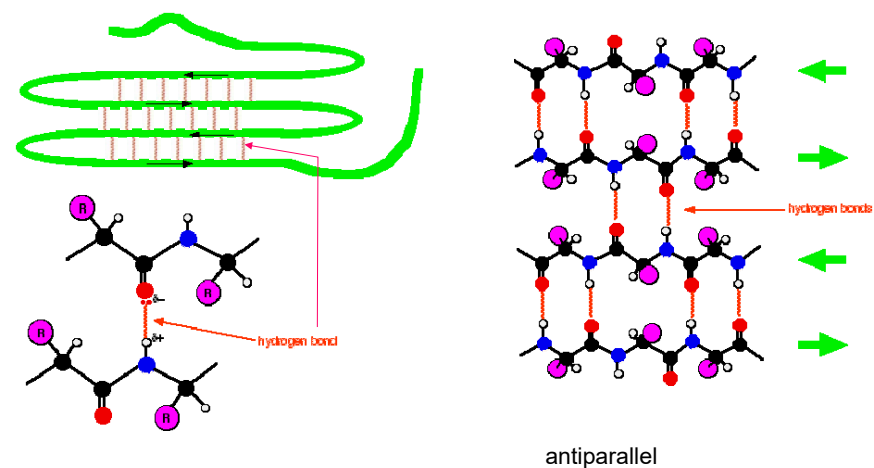
Alfa hélix



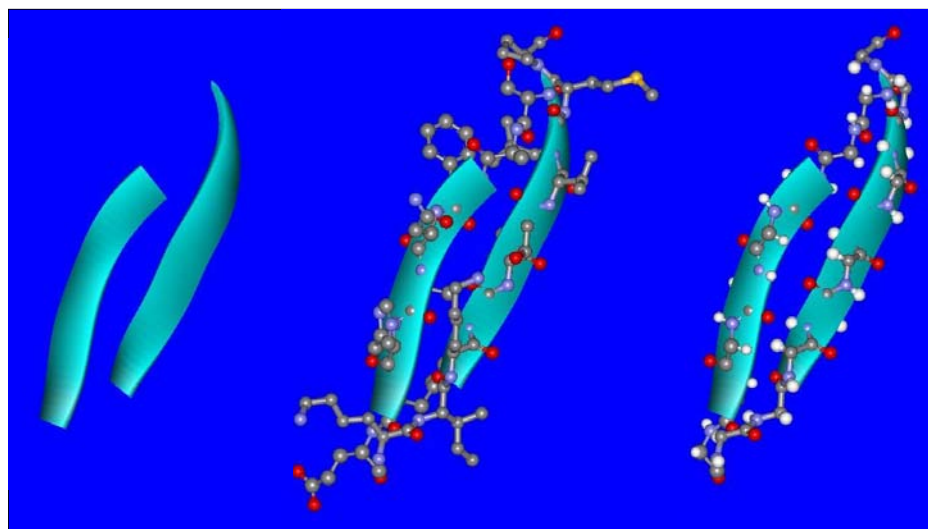
Alfa hélix



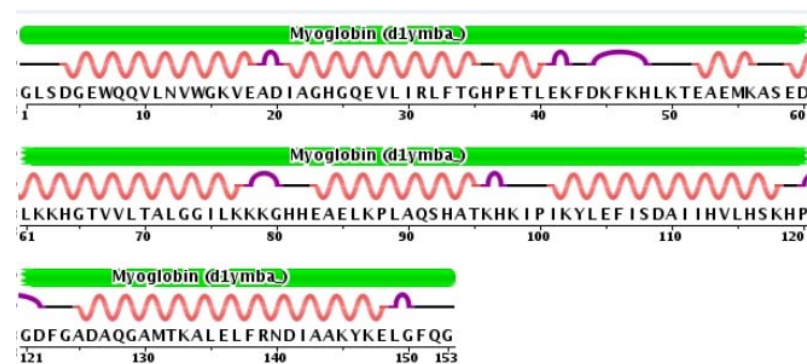
Béta lemez



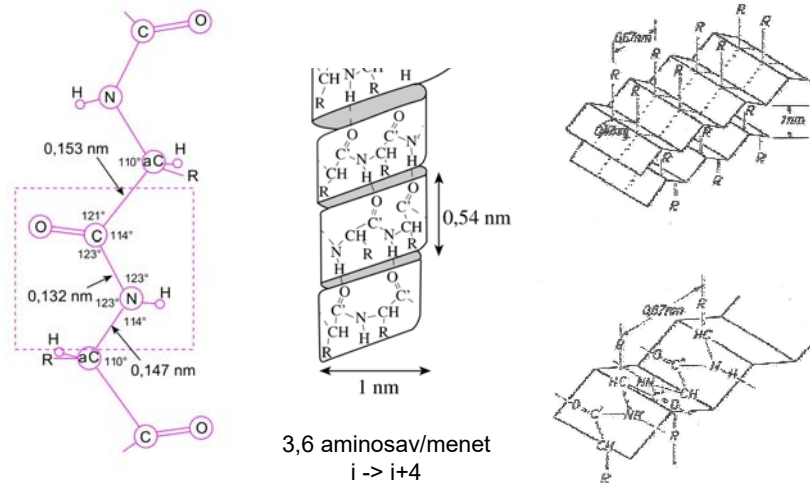
Béta lemez



Másodlagos szerkezet megjelenítése egy dimenzióban



Méretetek



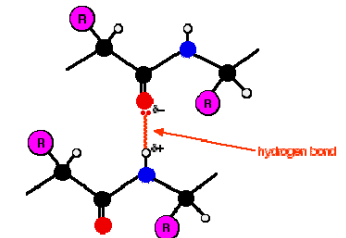
Stabilizáló hidrogénhidak

12-30 kJ/mol

vö: kovalens: 200 kJ/mol

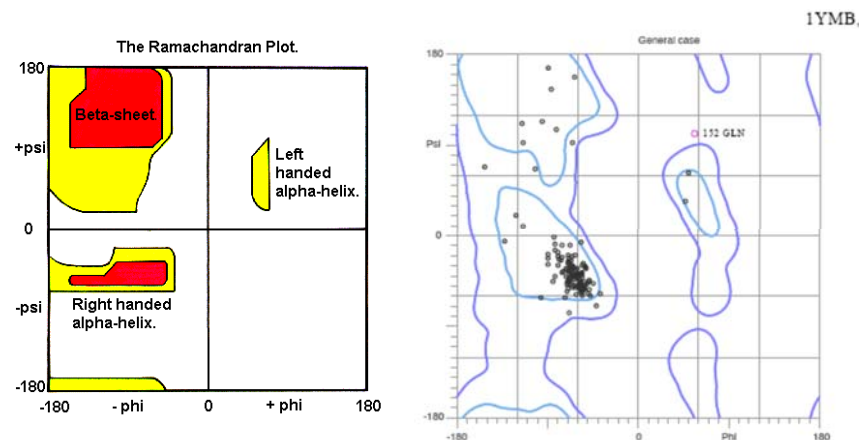
Van der Waals: 1-2 kJ/mol

termikus energia (RT):
2.5 kJ/mol (T=300K)



Boltzmann faktor: $e^{-\frac{\Delta E}{RT}} = 0.000335 = \frac{1}{2981} \approx \frac{1}{3000}$
($\Delta E=20\text{kJ/mol}$)

Ramachandran plot



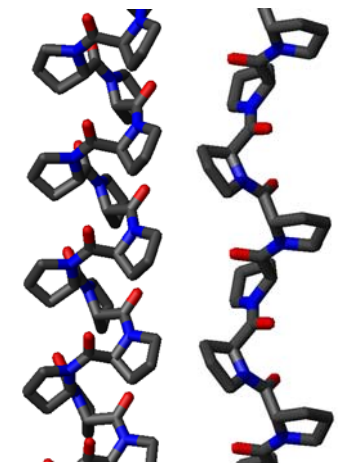
Egyéb speciális helikális szerkezetek

3_{10} -hélix* $i \rightarrow i+3$ (10 atom)

π -hélix $i \rightarrow i+5^*$

Polyprolin I helix cis

Polyprolin II helix*** trans



*az α -hélix: $i \rightarrow i+4$ $3,6_{16}$ helix

**nem fordul elő fehérjékben

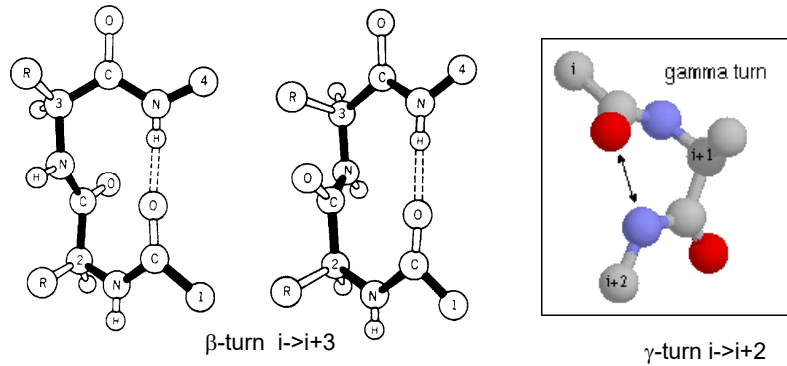
*** vízben ez keletkezik

Polyprolin

I II

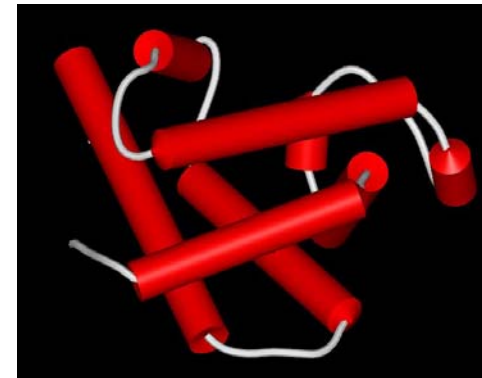
Egyéb nem helikális szerkezetek

Hurkok és kanyarok (loop) (turn)



Harmadlagos szerkezet

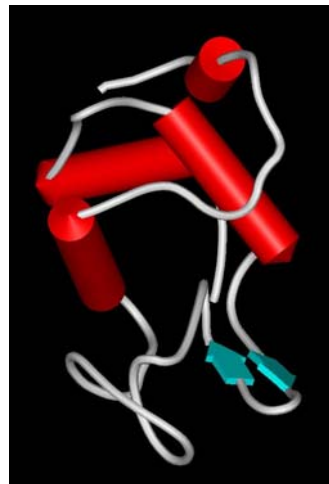
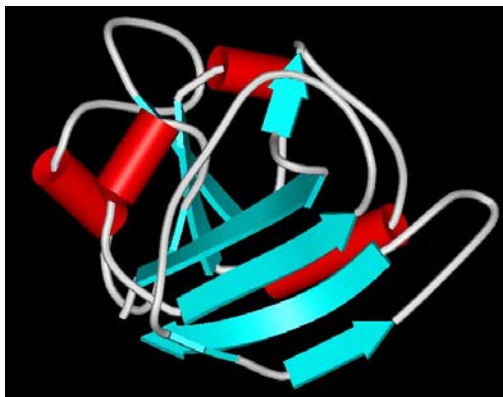
A másodlagos szerkezeti elemek térbeli elrendeződése (A teljes polipeptidlánc térbeli szerkezete)



Mioglobin

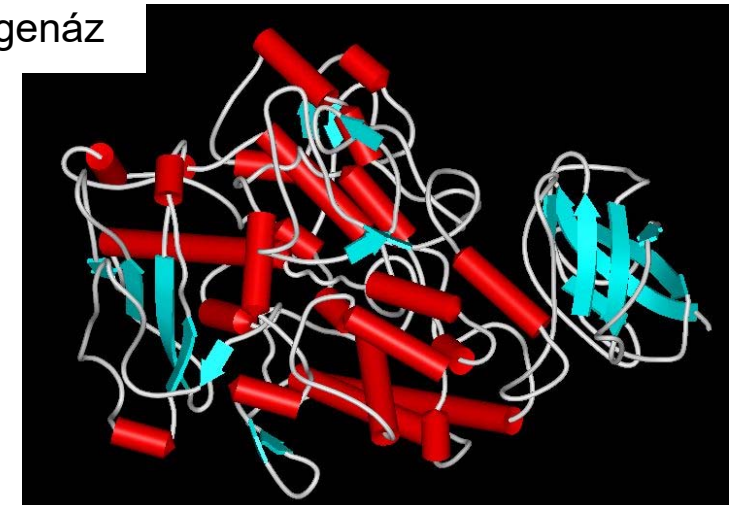
További példák

Lizozim (HEW)
Dihidrolát reduktáz

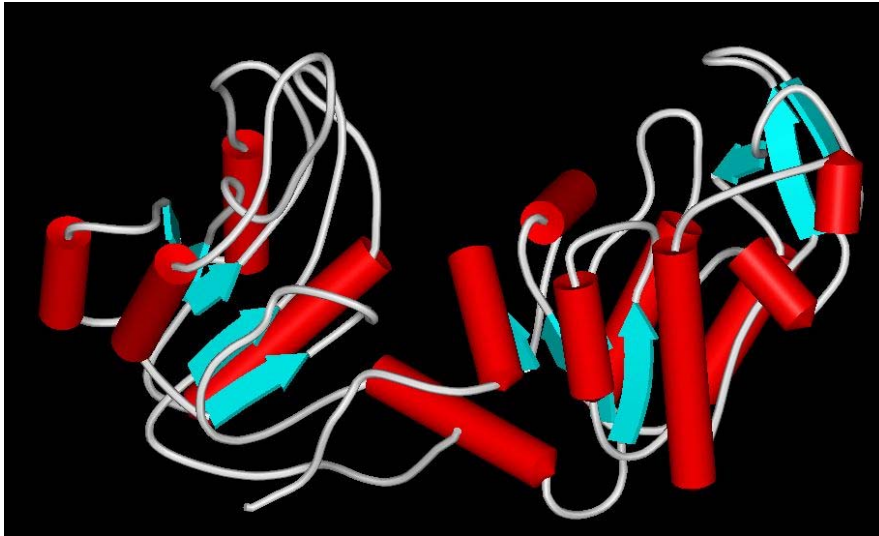


További példák

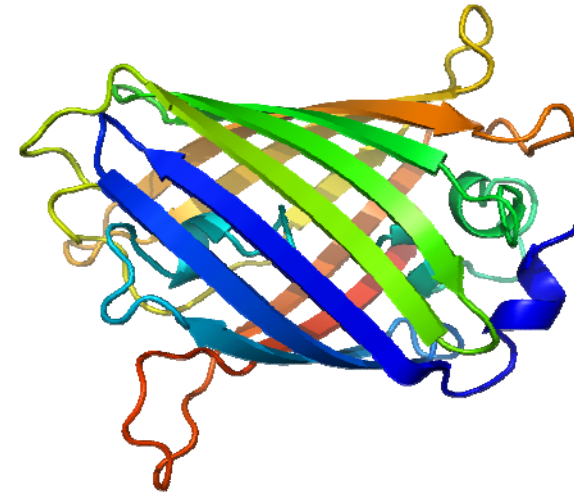
Lipoxigenáz



Példák: Foszfoglicerát-kináz



Példák: GFP



A harmadlagos szerkezetet stabilizáló kötések

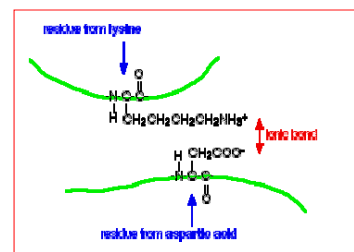
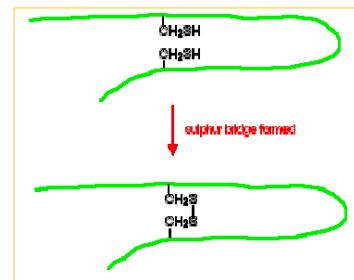
Oldalláncok között:

diszulfid híd

ionos

hidrogénhíd

Van der Waals



A harmadlagos szerkezetet stabilizáló kötések

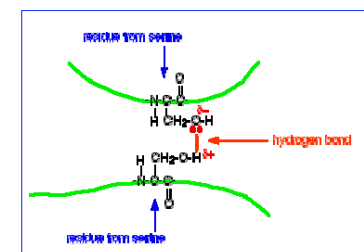
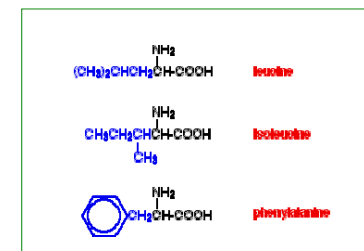
Oldalláncok között:

diszulfid híd

ionos

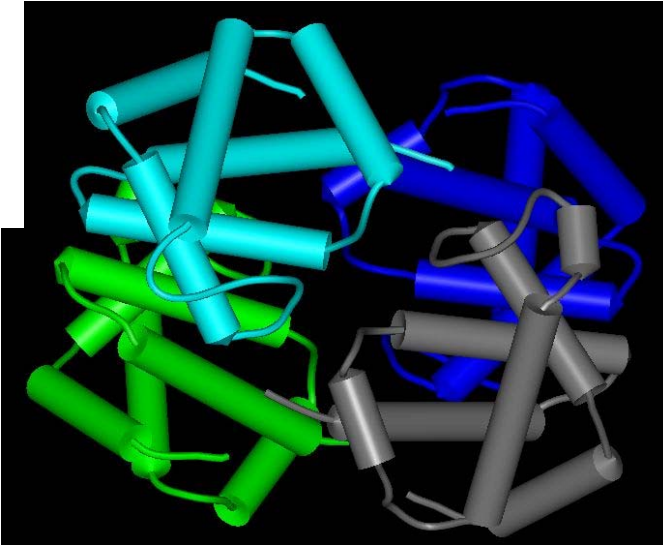
hidrogénhíd

Van der Waals

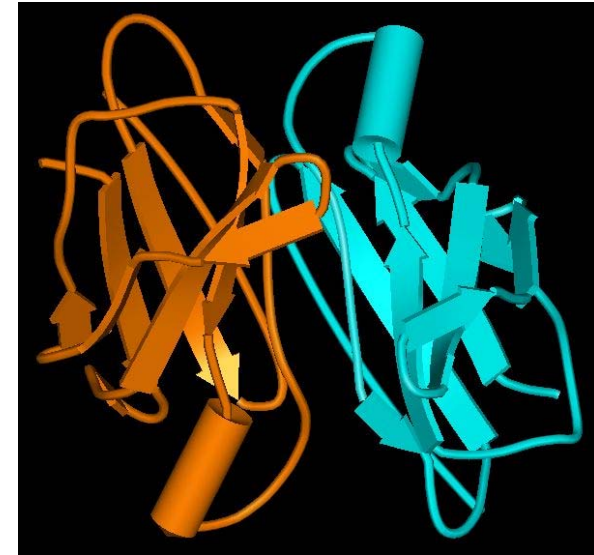


Negyedleges szerkezet

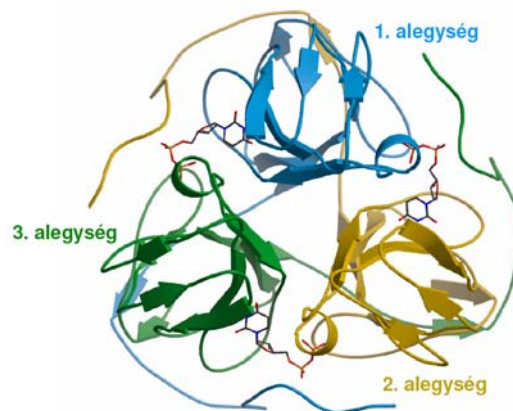
Csak több
láncból álló
fehérjéknél.
Pl:
Hemoglobin
tetramer



További példa: Transztiretin



További példa: DUTPáz



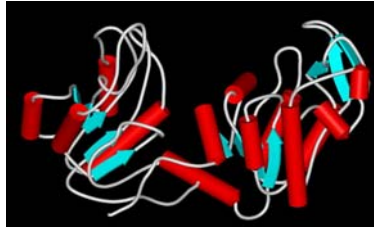
Ábra forrása: http://www.enzim.hu/~vertessy/kovari_phd.pdf

A fehérjeszerkezettel kapcsolatos további fontos fogalmak

- Domének
- Prosztetikus csoportok
- Poszttranszlációs módosulások
- Active site
- Zseb

Domének

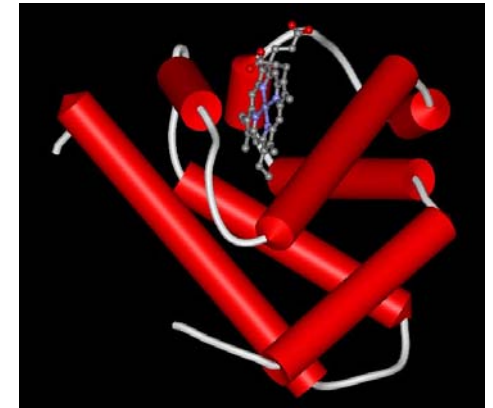
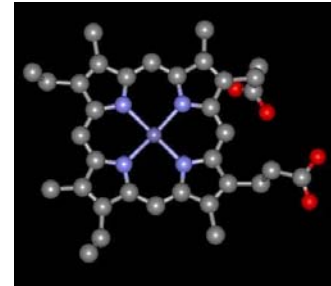
A domén a fehérjeszerkezet egy része, ami önállóan feltekeredik, a fehérje többi része nélkül is stabil és működőképes. Gyakran az egyes domének eltérő funkcióval bírnak. pl. ATP-kötő domén, stb.



További alkotóelemek: prosztetikus csoportok

Nem fehérje természetű molekulák amelyek a fehérjéhez erősen kapcsolódnak.

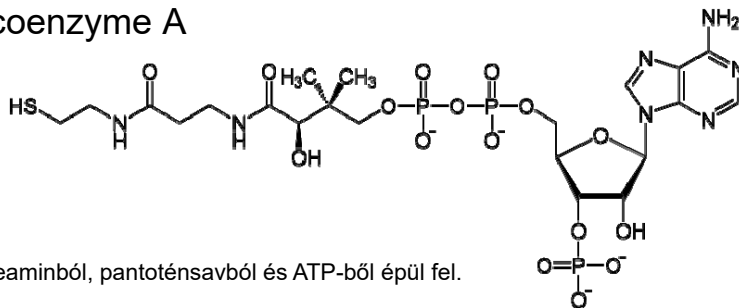
Pl: hem



További alkotóelemek: koenzimek

Az enzimek aktiválásához szükséges, gyengén, reverzibilisen kapcsolódó, nem fehérje-természetű molekula

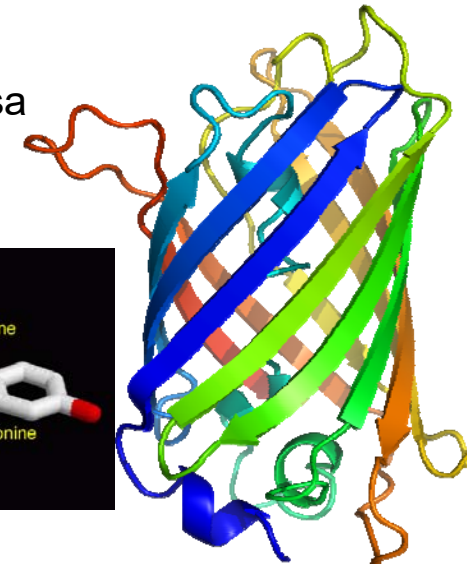
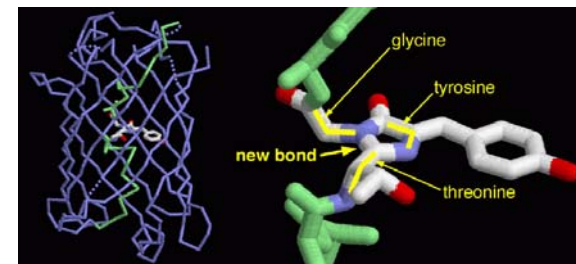
Pl: coenzyme A



Cishteaminból, pantoténsavból és ATP-ből épül fel.

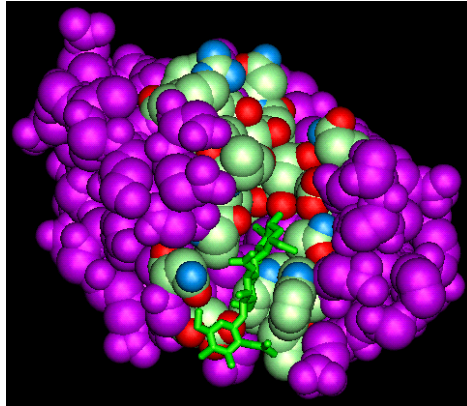
Poszttranszlációs módosulások

pl: kromofor kialakulása a GFP-ben

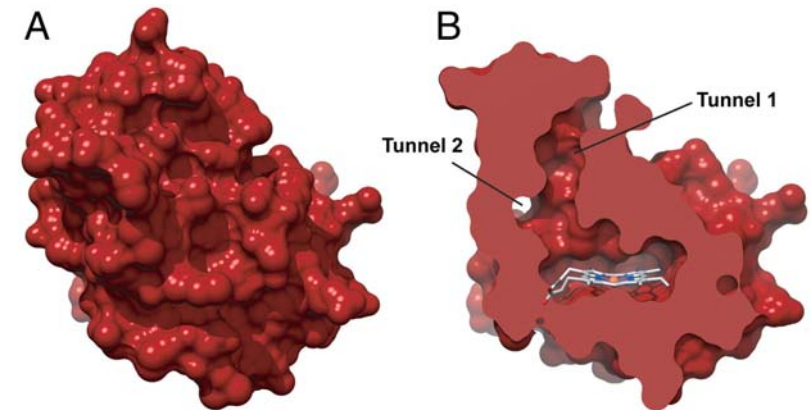


Aktív centrum

Aktív centrum (active site): az enzimnek az a része, ahol a katalizált reakció végbemegy.



Hem-zseb (heme pocket)



heme nitric oxide/oxygen binding (H-NOX) domain

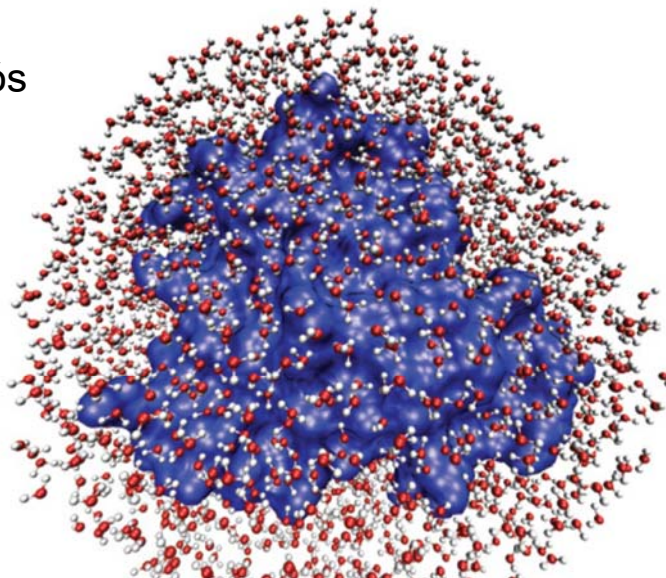
Winter M B et al. PNAS 2011;108:E881-E889

©2011 by National Academy of Sciences

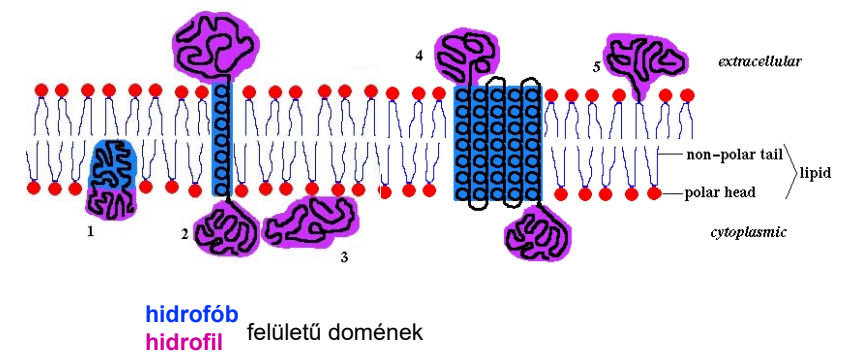
PNAS

A víz szerepe

hidrációs
réteg
2-3
víz-
réteg

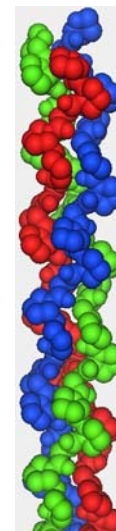
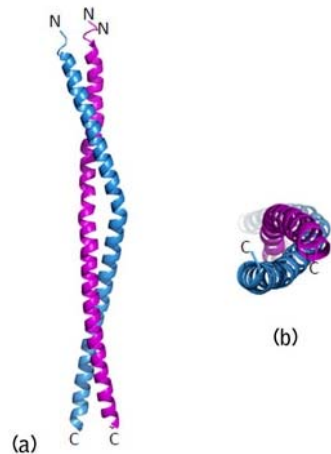


Membránfehérjék

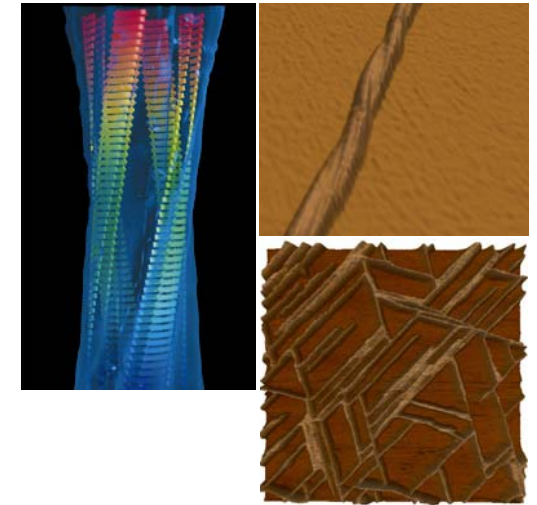


Szupramolekuláris szerveződések

- Coiled coil
- Kollagén
- Fibrillumok



kollagén



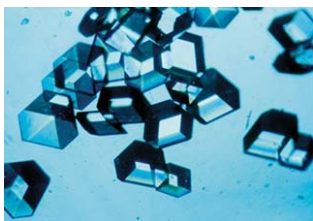
fibrillumok

A fehérjeszerkezet meghatározásra használható módszerek

Röntgen kristallográfia

NMR

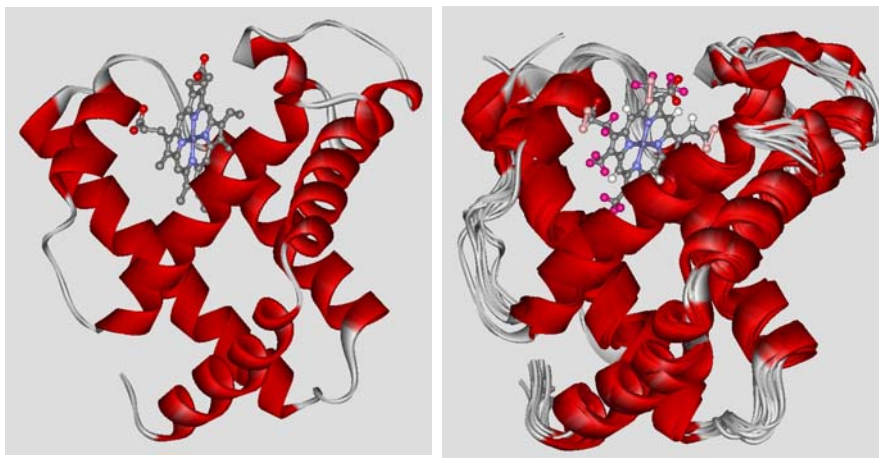
Predikációs módszerek (homológia modellezés)



A fehérjeszerkezet változásaira érzékeny spektroszkópai módszerek

- Cirkuláris dikroizmus (CD)
- Infravörös spektroszkópia (IR, FTIR)
- Lumineszcencia spektroszkópia
- UV abszorpciós spektroszkópia
- ...

Krisztallográfia <-> NMR



mioglobin

Fehérje adatbázisok

- PDB
 - Protein Data Bank
 - 3D szerkezetek (>100 ezer)
 - Röntgenkrisztallográfiai ill. NMR mérésekből
- Swiss-prot
 - Szekvenciák
 - Proteomikai segédprogramok,
 - Szerkezet becslés (homológia modellezés)
 - Kémiai paraméterek becslése (pl. izoelektromos pont...)
 - Szekvenciák hasonlósága...

PDB adatbázis: fehérje 3D szerkezetek Rtg és NMR alapján

Irodalom

- <http://www.molecularmodels.ca/molecule/modelfiles/jb16alan.html>
- <http://www.chemguide.co.uk/organicprops/aminoacids/background.html#top>
- <http://www.chemguide.co.uk/organicprops/aminoacids/proteinstruct.html>
- http://www.enzim.hu/~vertessy/kovari_phd.pdf
- <http://www.pdb.org/>
- T. E Chreighton: Proteins, Freeman and Company, New York
- Orvosi Biofizika Szerk: Damjanovich, Fidy, Szöllősi
- Tarján Imre: A biofizika alapjai
- Elődi Pál: Biokémia
- <http://www.pnas.org/content/108/43/E881.full>
- <http://imtech.res.in/raghava/>
- <http://www.cryst.bbk.ac.uk/PPS2/course/>
- <http://www.cryst.bbk.ac.uk/PPS95/course/>
- http://mkk.szie.hu/dep/aeet/tanweb/Fogalomtar/index_fogalom.htm
- <http://www.med.upenn.edu/shorterlab/research.html>