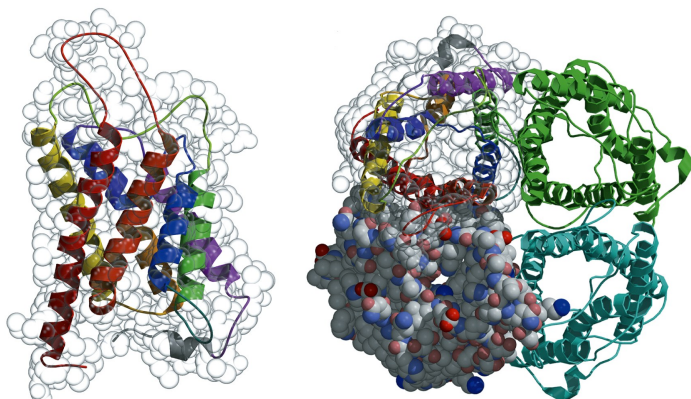


ウシ赤血球アクアポリンAQP1のX線構造

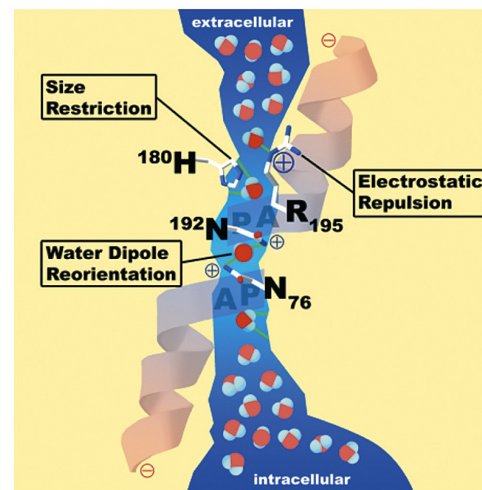


Courtesy of Bing Jap, University of California at Berkeley

Courtesy of Bing Jap, University of California at Berkeley

Figure 10-11a

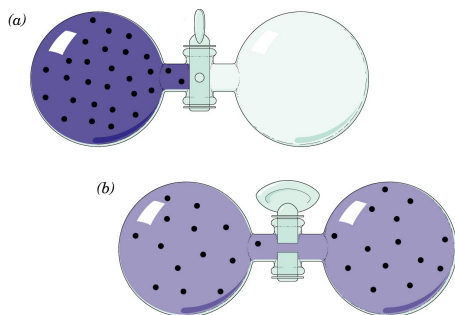
アクアポリンAQP1の水分子透過機構のモデル



Courtesy of Peter Agre, The Johns Hopkins School of Medicine

Figure 10-12

Thermodynamic Principles



熱力学の法則

1) エンタルピーの定義: $H = U + PV$

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V, \quad \Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

(第一法則)

$$\Delta H = \Delta Q - \Delta W + P\Delta V = \Delta Q - \Delta W'$$

2) エントロピー: $S \quad dS = dQ/T$ (可逆過程)

水の蒸発の $\Delta H_{\text{vap}} = 40.7 \text{ kJmol}^{-1}$ で
 $T = 373^\circ \text{ K}$ であるから

$$\Delta S_{\text{vap}} = 109.1 \text{ JK}^{-1}$$

蒸気になるときの
 エンタルピー変化

3) ギブスの自由エネルギー: $G = H - TS$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \text{ (等温条件)}$$

$$1/2 \cdot mv^2 = 1/2 \cdot (2 \text{ kg}) \cdot (1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ Nm}$$

質量 2 kg が $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の速さで動いているものの
 運動エネルギーに 1J が対応

U: エネルギー
 P: 圧力
 V: 体積
 Q: 熱
 W: 仕事

$$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$[\text{N} \cdot \text{m}] = [\text{J}]$$

$$0.24 \text{ cal} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

化学ポテンシャル

化学ポテンシャル
(部分モル自由エネルギー)

out	in
A_O	A_i

$$\mu_O = \mu^\circ + RT \cdot \ln A_O$$

$$\mu_i = \mu^\circ + RT \cdot \ln A_i$$

$$\Delta\mu = \mu_i - \mu_O = RT \cdot \ln(A_O/A_i)$$

T: Kelvin 温度

R: ガス定数 ($2 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

電気ポテンシャル

電気ポテンシャル—電荷を分子がもっていれば電位ができる

out	in
A_O^+	A_i^+
V_O	V_i

$$G_O = zFV_O + G^\circ$$

$$G_i = zFV_i + G^\circ$$

$$\Delta G = G_O - G_i = zF(V_O - V_i)$$

V: 電位

F: ファラデー定数 ($2.3 \times 10^4 \text{ cal} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)
($96500 \text{ クーロン} \cdot \text{mol}^{-1}$)

z: 電荷数

電荷をもった物質の濃度差の持つエネルギー

$$\Delta\mu_A^z = \Delta\mu + \Delta G = RT \cdot \ln(A_O/A_i) + zF(V_O - V_i)$$

$V_O = 0 \text{ mV}$ とすると

$$\Delta\mu_A^z = -zF \cdot V_i + RT \cdot \ln(A_O/A_i)$$

ここで平衡時を考えると $\Delta\mu_A^z = 0$

$$zF \cdot V_i = RT \cdot \ln(A_O/A_i)$$

$$V_i = RT/zF \cdot \ln(A_O/A_i) \text{ -----ネルンストの式}$$

$V_O = 0 \text{ mV}$ としたときの平衡時の電気化学ポテンシャル

熱力学の単位と定数

Gas constant (R)

$$R = Nk_B$$

$$R = 1.9872 \text{ cal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$R = 8.3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$R = 0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Avogadro's number (N)

$$N = 6.0221 \times 10^{23} \text{ molecules} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Coulomb (C)

$$1 \text{ C} = 6.241 \times 10^{18} \text{ electron charges}$$

Faraday (F)

$$1 \text{ F} = N \text{ electron charges}$$

$$1 \text{ F} = 96,494 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1} = 96,494 \text{ J} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Kelvin temperature scale (K)

$$0 \text{ K} = \text{absolute zero}$$

$$273.15 \text{ K} = 0^\circ \text{C}$$

平衡電位を求める

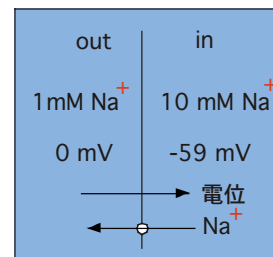
$$RT/zF = \frac{\frac{\text{ジュール}}{\text{mol} \cdot \text{K}^\circ} \text{K}^\circ}{(z) \frac{\text{ジュール}}{\text{ボルト} \cdot \text{mol}}} = \text{ボルト}$$

$$\begin{aligned} \text{平衡電位 } (\Delta \Psi) &= RT/zF \cdot \ln(A_o/A_i) \\ &= \frac{8.314 \times 298}{1 \times 96500} \times 2.303 \cdot \log(A_o/A_i) \\ &= 0.059 \cdot \log(A_o/A_i) \text{---volt} \end{aligned}$$

平衡膜電位の実際例

$$\text{平衡電位 } (\Delta \Psi) = 0.059 \cdot \log(1 / 10)$$

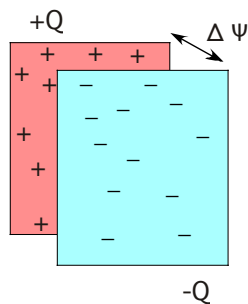
$$= -59 \text{ mV} \text{ ---拡散電位}$$



$$1 \Delta \text{pH} = -59 \text{ mV}$$

釣り合った状態 (平衡電位)

どのくらいのイオンが動くか?



$$C = Q / \Delta \Psi$$

Q: 電気量[C]

C: 電気容量[F]⇒ファラド

ΔΨ: 電位[V]

1 [F]とは1 [C]の電荷を蓄えたときの電位差が1[V]になる量

1 [C]= 2つの等しい量の電荷を1m離して置いたときに9 x 10⁹ Nの力を及ぼしあう状態

1 [V]= 1[C]の電荷をBからAまで移動させるのに1[J]の仕事をする電位差

Joule (J)

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ C} \cdot \text{V} \text{ (coulomb volt)}$$

$$\therefore [J] = [V] \cdot [C]$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ (newton meter)}$$

神経軸索の電気容量

$$C = 1 \mu\text{F}/\text{cm}^2 \text{ ----神経軸索の電気容量}$$

1 mVの電位差を作るためには

$$Q = C \cdot \Delta \Psi$$

$$= 1 \times 10^{-6} \times 10^{-3}$$

$$= 10^{-9} \text{クーロン}/\text{cm}^2$$

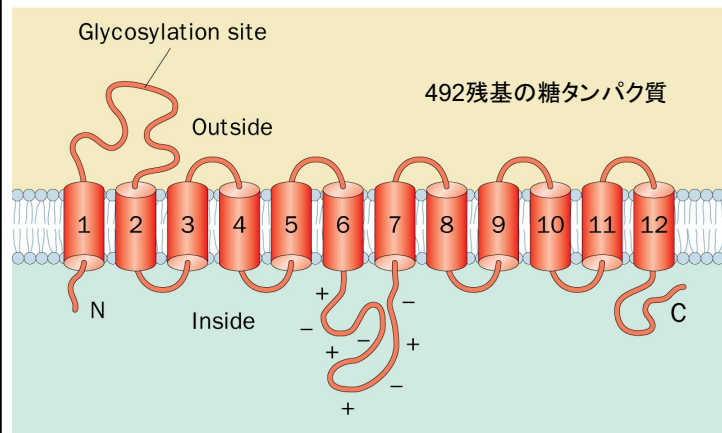
1価のイオン1モル=96500クーロン⇐10⁵ であるから

$$Q = 10^{-9} \text{クーロン}/\text{cm}^2 \Rightarrow 10^{-14} \text{モル}/\text{cm}^2$$

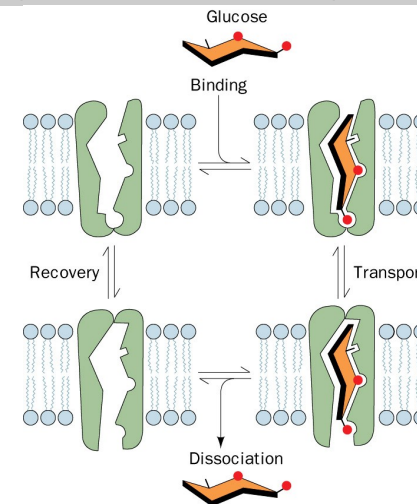
$$\begin{aligned} \therefore &= 6 \times 10^9 \text{イオン}/\text{cm}^2 \\ &= 60 \text{イオン}/\mu\text{m}^2 \end{aligned}$$

非常に少ないイオンの移動で電位は形成される。巨視的にはイオン濃度の変化はほとんどない。

Predicted secondary structure and membrane orientation of the glucose transporter.

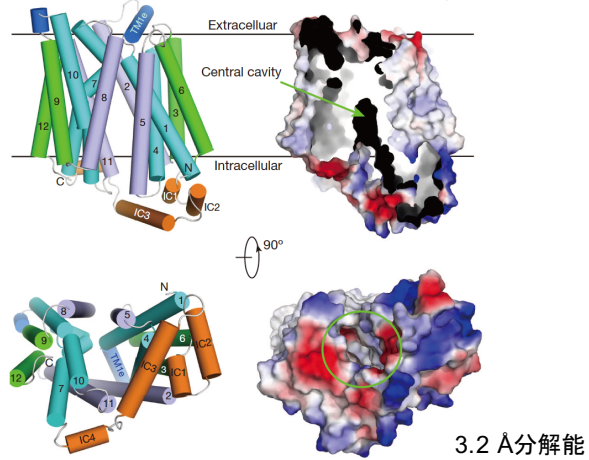


Alternating conformation model for glucose transport

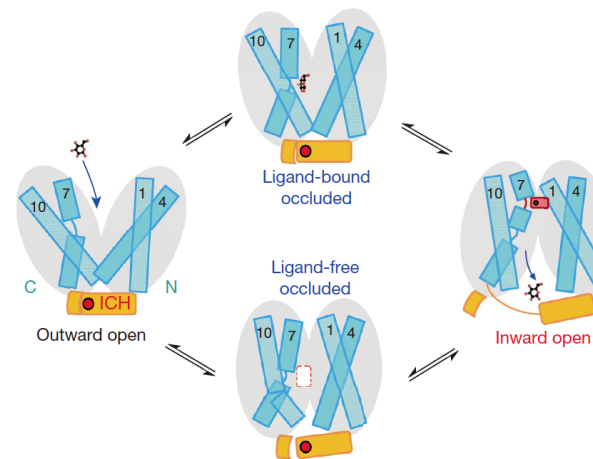


Overall structure of the human glucose transporter GLUT1

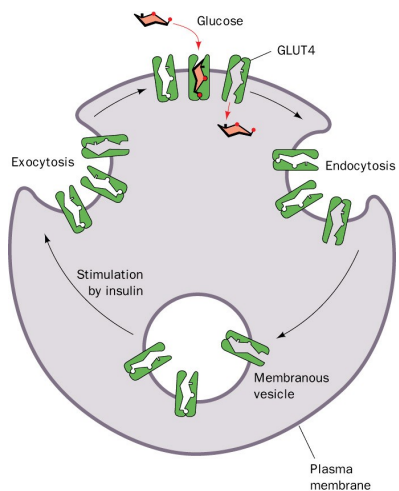
Nature 510, 121–125 (05 June 2014)



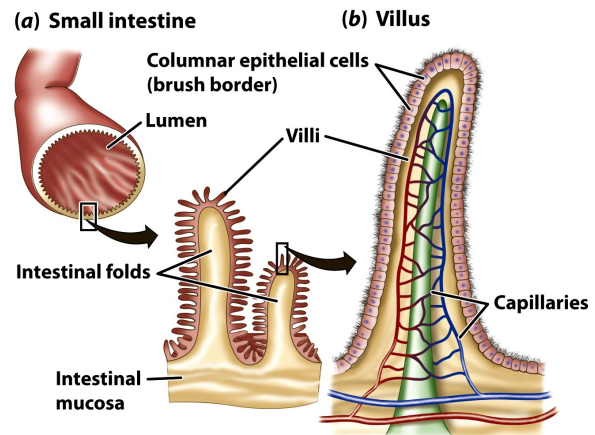
A working model for GLUT1



Regulation of glucose uptake in muscle and fat cells.



小腸上皮のグルコース輸送(1)



© 2008 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.