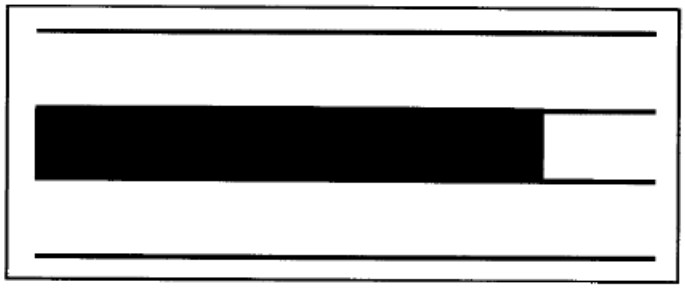
موائع غير مهملة اللزوجة

***الانسياب الصفائحي والمضطرب وعدد رينولدز**

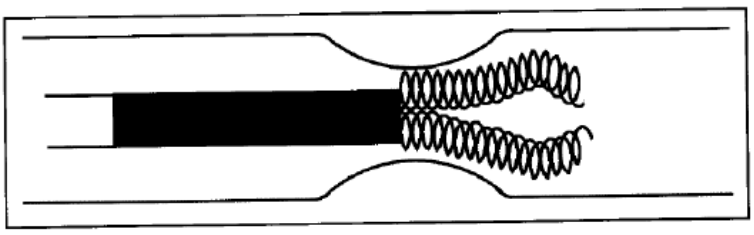
عند تلوين الجزء المحوري من سائل ينساب ضمن قناة (الماء مثلا) نستنتج بعد فترة وجيزة ما يلي: -

عندما تكون سرعه الانسياب ضعيفة فان الجزء المحوري الملون لا يختلط ابدا مع الجزء المحيطي وبالتالي فالسائل يتحرك وفق صفائح مشتركه المحور ينزلق بعضها على بعضها الاخر. فنقول في هذه الحالة بان الانسياب صفائحي كما في الشكل (9-1)



الشكل (9-1) الانسياب الصفائحي عندما تكون سرعه الانسياب ضعيفة

والعكس عندما تكون سرعه السائل كبيره (في مستوي الاختناق) تظهر عندئذ اظطرابات (دوامات) لذا فان جزيئات الجزء المحوري تختلط مع جزيئات الجزء المحيطي فنحصل على انسياب مضطرب *unsteady flow* كما في الشكل (10-1).



الشكل (10-1) الانسياب المضطرب عندما تكون سرعه الانسياب كبيرة.

وللتمييز بين هذين النظامين للانسياب فقد حدد تجريبا العالم الفيزيائي الإنكليزي رينولدز العدد (R) والذي حمل اسمه والمعطى بالعلاقة الأتية: -

$$R_e = \frac{2\rho v r}{\eta}$$

حيث ان: -ρ: الكتلة الحجمية للمائع. η : معامل لزوجة المائع r : نصف قطر الانبوب الاسطواني، v : السرعة المتوسطة لانسياب المائع.

فاذا كانت ($R_e < 2000$) فالانسياب يكون صفائحي. وإذا كان ($R_e > 3000$) فالانسياب يكون مضطربا. اما إذا كانت ($3000 > R_e > 2000$) فعندئذ لا نستطيع معرفه نظام الانسياب. وبالرجوع الى علاقة عدد رينولدز نلاحظ بان عدة عوامل من المعادلة الرياضية التي تعبر عن (R)

تتغير معا. فمثلا في مستوي الاختناق يتناقص نصف القطر (r)، لكن هذا لا يعني بان عدد رينولدز يتناقص بل على العكس فان سرعه المائع تزداد في مستوي الاختناق, وبالتالي إذا كانت القناة أسطوانية وكان التدفق (D) لا يتغير بالاختناق نحصل على: -

التدفق= السرعة. مساحة المقطع

أي ان

$$\bar{v} = \frac{D}{\pi\, r^2}$$

نلاحظ بان السرعة متناسبة عكسيا مع مربع نصف القطر ولهذا فعندما يتناقص نصف القطر(r) فان حاصل الضرب (vr) يزداد وبالتالي فان عدد رينولدز يزاد. لذا عندما يكون الاختناق كافيا يصبح الانسياب مضطربا.

اما اثناء فقر الدم فان معامل اللزوجة (η) يتناقص وكذلك الكتلة الحجمية (ρ) لكن تأثيرهما على عدد رينولدز يكون متعاكسا، لذلك ففي الكائن الحي يزداد تدفق الدم وبالتالي تزداد سرعته ونتيجة لهذه المتغيرات المختلفة تزداد قيمه عدد رينولدز وهذا ما يجعل الدم يميل بشكل كبير ليكون مضطربا في جسم فقير بالدم.

ففي الانسياب المضطرب ونتيجة للاصطدامات العديدة ما بين الجسيمات فان ضياع الطاقة في الانسياب المضطرب يكون أكبر بكثير مما هم عليه في الانسياب الصفائحي. وانه عند اصطدام الجسيمات فيما بينها تنتج ظواهر اهتزازيه صوتيه أي اصطدار ضجيج (خرير) كالريح مثلا بالنسبة للهواء. اما في حاله الكائن الحي فيمكن إدراك هذا الضجيج بالإصغاء وهذا يحدث عندما يمر المائع (هواء في المسالك الهوائية، دم في الأوعية الدموية) في مقطع ضيق جدا. وانه في حاله فقر الدم فان ظهور ذلك يكون واضحا.

مثال١) تم حقن دواء في ذراع مريض بمعدل 319 mL/min، من خلال حقنه ذات إبرة بقطر داخلي 1 mm، علما ان الدواء له كثافه مقدارها $1050kg/m^3$ ولزوجه $8.9\times10^{-4}\ Pa.s$. فهل التدفق صفائحي او مضطرب؟

الحل) $D = 319 \times 10^{-3} L.,min^{-1} \frac{10^{-3}m^3L^{-1}}{60\ s.min^{-1}} = 5.32 \times 10^{-6} m^3 s^{-1}$

وعليه فان سرعة المحلول خلال الإبرة ستكون،

$$v = \frac{D}{S} = \frac{D}{\pi r^2} = \frac{5.32 \times 10^{-6} m^3 s^{-1}}{\pi \times (0.5 \times 10^{-3} m)^2} = 6.77 m.s^{-1}$$

وعليه فان عدد رينولدز

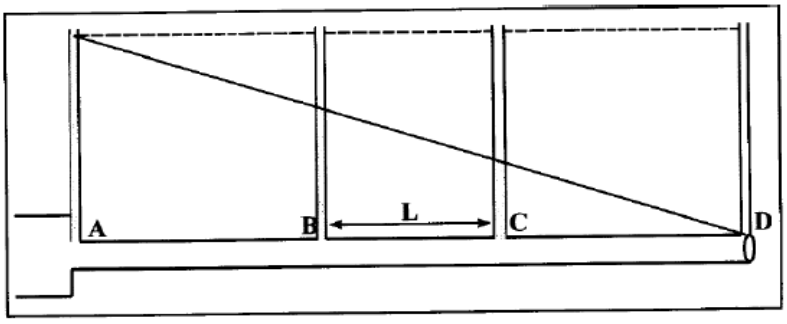
$$R_e = \frac{2\rho \bar{v} r}{\eta} = \frac{2 \times 1050 \times 6.77 \times 0.5 \times 10^{-3}}{8.9 \times 10^{-4}} \approx 8000$$

وهذا يعتبر فوق نقطة القطع للتدفق المضطرب.

س) ما هو اعظم متوسط سرعة لتدفق الدم عند درجه (37 C^o) في شريان نصف قطره (2.0mm) حيث ان التدفق يبقى صفائحي ، وكم سيكون معدل التدفق المقابل لهذه السرعه؟ علما ان كثافه الدم 1.025g/ml ولزوجته $2.08\times 10^{-3}\ Pa.\ s$

قانون بوا زويل التجريبي ***Poiseuelle's Practical law*

وضع بوا زويل انابيب شفافة عموديه في النقاط (A,B,C,D) من قناة افقية أسطوانية نصف قطرها $(r<1mm)$ كما موضح بالشكل (11-1).



الشكل (11-1)

ينساب فيها سائل بشكل صفائحي فوجد بان الضغط يتناقص وفق اتجاه الانسياب من اليسار الى اليمين أي ان: -

$$P_A > P_B > P_C > P_D$$

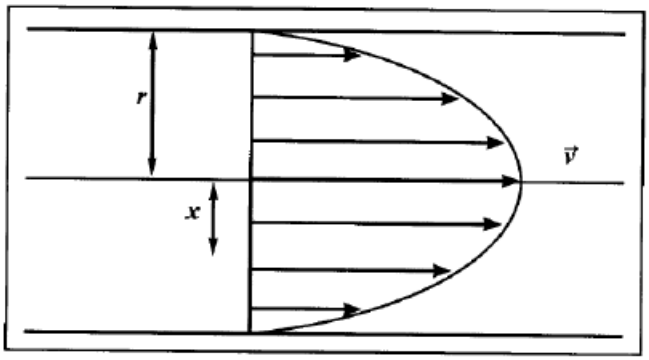
فتوصل الى علاقة التدفق الحجمي (D)

$$D = \frac{(P_B - P_C)\pi r^4}{8\eta L}$$

وتعرف باسم قانون بوا زويل.

حيث ان: L: المسافة الفاصلة ما بين النقطتين C,B ، η : معامل لزوجه السائل.

P_B-P_C : فرق الضغط ما بين النقطتين (C,B) من القناة. كما توصل أيضا الى ان سرعة المائع تكون عظمى على محور القناة وتتناقص حتى تنعدم على الجدران كما في الشكل (12-1).



شكل (12-1) تغير سرعه المائع من نقطه الى اخرى داخل القناة

وان منظر السرعات هو عباره عن قطع مكافئ أي ان :-

$$v = \frac{(P_B - P_C)}{4\eta\, L}(r^2 - x^2)$$

حيث ان (x) بعد النقطة المعتبرة عن المحور.

ويمكننا الحصول على السرعة المحورية عندما $(x=0)$ أي ان: -

$$v_{max} = \frac{r^2}{4\eta}\,\frac{(P_B - P_C)}{L}$$

اما السرعة المتوسطة فتعطى بالعلاقة التالية: -

$$\vec{v} = \frac{v_{max}}{2} = \frac{r^2}{8\eta}\,\frac{(P_B - P_C)}{L}$$

مثال) احسب الانخفاض بالضغط لكل (1 cm) على طول الشريان الابهر عندما يكون معدل تدفق الدم (25 L/min). علما ان نصف قطر الشريان الابهري حوالي (1 cm)، ومعامل لزوجة الدم حوالي (4×10^{-3} Pa.s).

الحل)

$$D = 25\frac{1\times10^{-3}m^3}{60\ s} = 0.416\times10^{-3}\frac{m^3}{s}\ ,\quad L = 0.01m,\qquad r = 0.01m\ ,$$
$$\eta = 4\times10^{-3}\ \text{Pa.s}$$

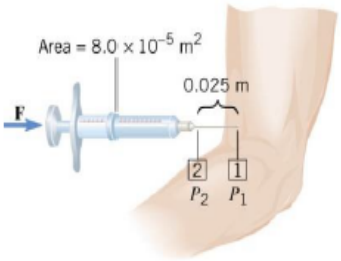
$$\Delta P = \frac{D8\eta L}{\pi\, r^4} = \frac{(0.416\times10^{-3})(8)(4\times10^{-3})(0.01)}{\pi\,(0.01)^4} = \frac{0.133\times10^{-6}}{3.14\times10^{-8}}$$

$$\Delta P = 4.23\ Pa.$$

مثال) تم تعبئة حقنة تحت الجلد بمحلول لزوجته (1.5 mPa.s). مساحة المكبس للحقنة تبلغ (8×10^{-5} m^2)، وطول الإبرة (0.025 m) التي يبلغ نصف القطر الداخلي لها (4×10^{-4} m) إذا علمت ان قياس الضغط في الوريد (14 mmHg).

(1) ما القوة التي يجب تطبيقها على المكبس حيث يمكن حقن (1×10^{-6} m^3) من المحلول خلال 3s؟

(2) وهل ان التدفق صفائحي ام لا، إذا كانت الكثافة للمحلول (1.0 g/cm^3)؟



الحل)

η=1.5×10^{-3} $Pa{\cdot}s$,l =0.025m, r=4.0×10^{-4}m, P =1900Pa, V = 1.0 × 10^{-6} m^3, t = 3.0 s , S=8×10^{-5} m^2

1) $D = \frac{V}{t} = \frac{1 \times 10^{-6}}{3} = 3.3 \times 10^{-7} m^3/s$

$VR = \frac{8\eta l}{\pi r^4} = \frac{8(1.5 \times 10^{-3})(0.025)}{\pi(4 \times 10^{-4})^4} = 3.73 \times 10^9\ Pa.s/m^3$

$D = \frac{P_2 - P_1}{VR}$

$3.3 \times 10^{-7} = \frac{P_2 - 1900}{3.73 \times 10^9}$

$P_2 - 1900 = 1243$

$P_2 = 3143\ Pa$

$F = 3143 \times 8 \times 10^{-5} = 0.25N$

2) $D = S.v$

$3.3 \times 10^{-7} = \pi(4 \times 10^{-4})^2 v$

$v = 0.656\ m/s$

$R_e = \frac{2\rho \bar{v} r}{\eta} = \frac{2(1000)(0.656)(4 \times 10^{-4})}{1.5 \times 10^{-3}} = 350$ صفائحي