الفصل الثالث

حركية الدم

حتى الآن لم نطبق سوى النظريات الأكثر عمومية لحركية الدم على الانسياب الدموي مهملين بعض المظاهر النوعية للدم والأوعية الدموية:

- ليس الدم محلولاً بسيطاً بل هو معلق متسبباً بسلوكات غير نيوتونية .
- شجرة الانسياب مجهزة بتعقيدات كبيرة تشريحية وفيزيولوجية.
- ليست الأوعية الدموية أقنية صلبة بل هي مرنة.

تسمح دراسة الفيزياء الحيوية لجدران الأوعية بفهم الأفعـــال الفيزيولوجيـة والمرضية وخاصة كيف أن التدفق النبضي في مستوى القلب يميل ليكون منتظماً عند الابتعاد عنه.

يسمح ترابط خواص المرونة للجدار وعطالة الدم بفهم انتشار موجة الضغط علـــى طول الشرايين التي هي عبارة عن النبض.

I – لزوجة الدم:

الدم هو عبارة عن معلق كريات في محلول جزيئات كبـــيرة (الألبومـين، الغلوبيلين).

– أرقام:

عند درجة الحرارة $37\,^0C$ تكون لزوجة الماء مساوية:

$$\eta_0 = 0{,}7.10^{-3}\,Pa.S$$

وإن اللزوجة التجريبية للسيروم هي: $1,4.10^{-3}$ Pa.S

وعندما يكون الحجم النسبي للبروتينات 0,07 فإن علاقة أنيشتاين تعطي:

$$\eta = 0,82.10^{-3}\ Pa.S$$

كما إن لزوجة الدم الكلي (بلازما+كريات) تزداد مع الهيماتوكريت (جدول I)، والهيماتوكريت هو عبارة عن الحجم النسبي للكريات الحمراء في الدم ويساوي إلى (0,4-0,45) ضمن الشروط الفيزيولوجية. فعند الإصابة بمرض حيث يزداد الهيماتوكريت، فإن لزوجة الدم (ومن ثم المقاومة الميكانيكية للانسياب) تزداد بقوة مما يؤدي إلى تباطؤ انسياب الدم، كحالة كثرة الكريات الحمر. حيث يصل عدد الكريات الحمر في الميليمتر المكعب إلى (7) مليون وقد يتجاوز هذا العدد. وذلك عند التسمم بأول أكسيد الكربون (CO) الذي يتسبب بتزايد واضح لحجم الكريات الحمر.

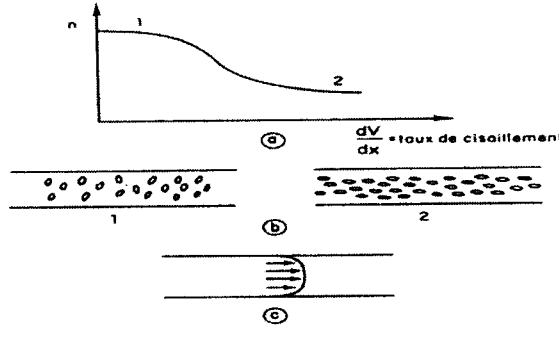
هيماتوكريت	(ηدم) / (ηبلازما)
0,2	3,2
0,3	3,3
0,4	4,2
0,5	5,5
0,7	7,6

جدول I

- الدم ليس بسائل نيوتوني.

تتعلق اللزوجة المقاسة بالشروط التجريبية، فـــهي تتعلـــق بتـــدرج الســـرعة (الشكل1a) حيث تتناقص عند تزايد هذا التدرج، وإن فحصاً دقيقاً يبين بأنه عنـــد قيم كبيرة لتدرج السرعة تسعى الكريات الحمر للتوضع بالقرب من محور الوعـــاء الدموي (الشكل 1b) وإنه ضمن هذه الشروط يكون مظهر السرعات متسطحاً جداً (الشكل1C)

وإن التجمع المحوري للكريات هو ظاهرة عامة جداً، وإنه كلما كانت ســـرعة الانسياب كبيرة كلما كانت هذه الظاهرة ملحوظة بشكل أكبر. وينتج عن ذلـــك وجود طبقة انزلاق مكونة غلافاً من البلازما المحضة ما بين جدران الوعاء الدمـــوي والمنطقة المحورية الكثيفة بالكرويات .

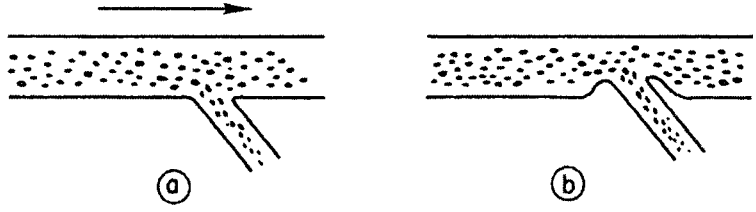


الشكل 1

– فعل فاهروس – لاندكويست:

تتعلق اللزوجة الظاهرية للدم بقطر الأوعية الدموية. فعند هيما توكريت ثابت، تكون اللزوجة الدموية عملياً ثابتة من أجل أوعية دموية نصف قطرها أكبر من 0,5mm وتتناقص بوضوح من أجل أوعية دموية أدق (نصف قطرها أصغر). وترتبط هذه الظاهرة بالغلاف البلازمي الانزلاقي الذي سماكته تقريباً ثابتة من أجل الأوعية الدموية ($3\mu m \approx$) والذي يشغل جزءاً من المقطع ويكون كبيراً بمقدار ما يكون الوعاء صغيراً. ويضاف إلى هذه الظاهرة انخفاض للهيماتوكريت في الملحقات الشريانية الصغيرة. فالدم الذي تتلقاه هذه الملحقات الشريانية آتٍ من الجزء المحيطي للوعاء الدموي الرئيسي؛ لهذا تكون قيمة الهيماتوكريت فيه أقل (الشكل 2a).

وبالعكس فإن بعض الشرينات، تسمى بالوسادة، لها ثقب دخول يقع بالقرب من محور الشريان نفسه؛ لذا فالدم الذي تتلقاه هذه الشرينات أغنى بالكريات الحمر من دم الشريان الأخير (الشكل2b).



الشكل 2

– الدوران في الأوعية الشعرية.

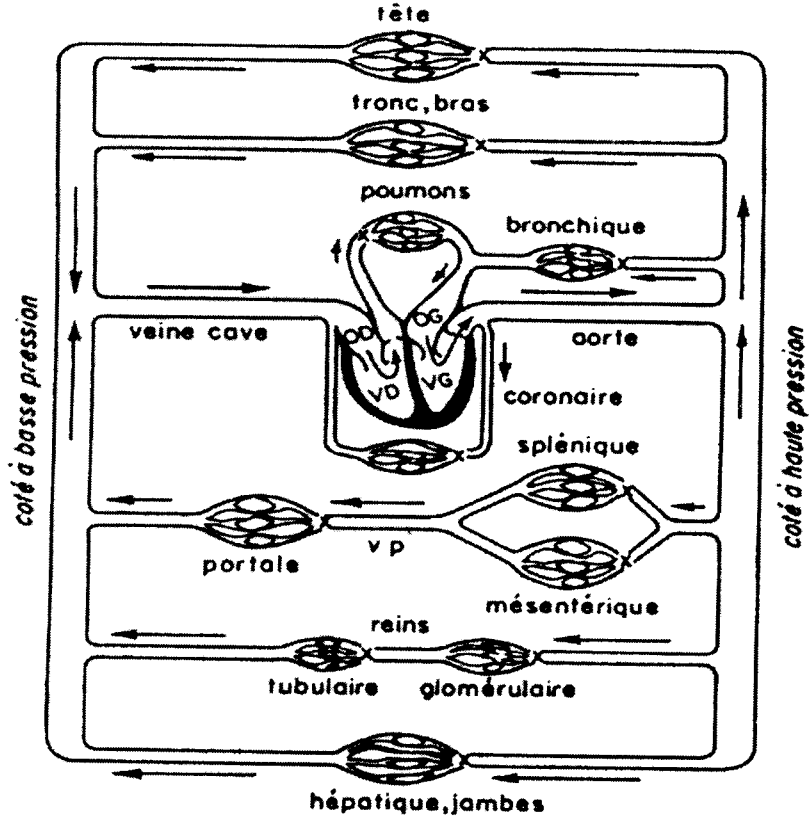
إن قطر الأوعية الشعرية المجموعية µm (10 – 3) هو من نفس مرتبة قطر الكريات الحمر µm(8 – 7).

ضمن هذه الشروط لا يمكننا اعتبار الانسياب الدموي كانسياب المائع المستمر، وإن مفهوم اللزوجة نفسه يفقد معناه. في الأوعية الشعرية تنساب الكريات الحمر وفق رتل، ويتعلق هذا الانسياب بقابليتها للتشوه؛ لأن القناة التي يجب أن تجتازها هي على الأغلب أضيق من كرة حمراء طبيعية. وإن تشوه الكريات الحمر يتعلق بلزوجة المائع داخل الخلية وبنسبة سطح الكرة على حجمها (سطح/حجم، سطح غشاء الكريات الطبيعية $140\,\mu m^2$ وهو حوالي 50% أكبر من القيمة الضرورية لتغطية كرة لها نفس حجم الكرية الحمراء $90\,\mu m^2$ مما يسمح بتشوه السطح) وبالخواص اللزجة ــ المرنة للغشاء نفسه. وإن جميع هذه العوامل يمكن أن تكون موضوع التغيرات المرضية.

II ــ الدورة الدموية:

يوضح (الشكل 3) مخططاً عاماً للدوران حيث:

X:	نقاط مراقبة الشرينات للتدفق	VP:	الوريد الحامل
OD:	أذينة يمنى	OG:	أذينة يسرى
VD:	بطين أيمن	VG:	بطين أيسر



الشكل 3

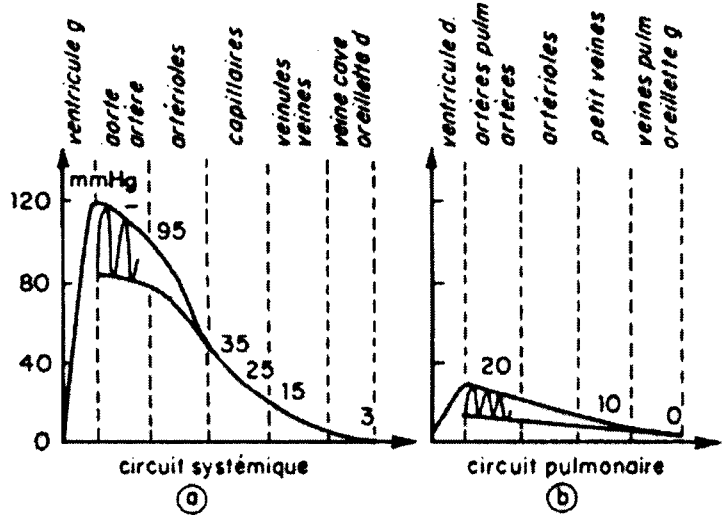
– الدوران الرئوي:

يربط الدوران الرئوي المسمى أيضاً بالدوران الصغير ما بين البطـــين الأيمـــن والأذينة اليسرى ماراً بالرئة ويحتوي (الشكل 4) على:

- الشريان الرئوي وفروعه
- الأوعية الشعرية الرئوية
- الأوردة الرئوية

ويحتوي على دم حجمه تقريبا 1,3 لتر وأن الضغط السائد فيه ضعيف. ففـــي الشريان الرئوي يكون الضغط المتوسط $\overline{P} = 1,6KPa(12mmHg)$.

بينما قيمته في الأوردة الرئوية $(0 \leftarrow 1)mmHg$ أو $\overline{P} = (0 \leftarrow 0,1)KPa$



الشكل 4

– الدوران المجموعي:

يربط الدوران المجموعي المسمى أيضا بالدوران الكبير ما بين البطين الأيســـــر والأذينة اليمنى مجتازا ما بقي من الجسم، ويحتوي على عدة دارات فرعية مـــا بـــين الأبهر وأحد الوريدين الأجوفين، وإن الضغط المتوسط في الأبهر يساوي:

$$\overline{P} = 13,3KPa = 100mmHg$$

بينما الضغط في الوريد الأجوف (الشكل 4) فيساوي:

$$\overline{P} = (0 \leftarrow 0,1)KPa \text{ أو } (0 \leftarrow 1)\ mmHg$$

– المضخة القلبية المزدوجة:

يوجد ما بين الدورانين مضخة قلبية مزدوجة حجمها المتوسط 0,25 لتر. فالمضخة اليمنى ترفع الضغط المتوسط بمقدار 1,6KPa ما بين الوريد الأجوف والشريان الرئوي. بينما المضخة اليسرى فترفع الضغط بمقدار 13,3KPa ما بين الأوردة الرئوية والأبهر.

– الطحال والكبد:

أخيراً يكون الطحال والكبد مستودعين يشغلان حجماً قدره 0,55 لتر تقريباً.

– انخفاض الشحنة من القسم الشرياني نحو القسم الوريدي.

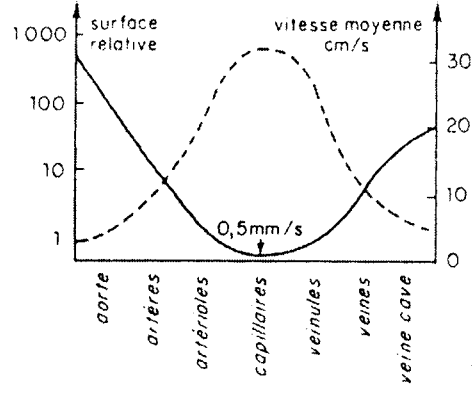
بالنظر إلى (الشكلين 4a,4b) نرى بأن الشحنة تنخفض تدريجياً من القسم الشرياني نحو القسم الوريدي في كلا الدورانين، وأن تتابع الأوعية هو نفسه دائماً وعلى النحو التالي: شرايين، شرينات، أوعية شعرية، وريدات، أوردة، وريد أجوف (أو رئوي). ولايوجد سوى نظام أوعية شعرية وحيد مع وجود استثناء وهو النظام الكلوي حيث يوجد نظاما أوعية شعرية على التسلسل: الأول بضغط مرتفع في مستوى الكبيبات، والثاني بضغط منخفض حول الأنابيب.

– توزع الحجم والسرعة والمقاومة:

في الدوران الكبير، من الهام مقارنة توزع حجم الدم في الدوران الكبير وسطح مقطع الأوعية الدموية (جدولII)

الأوعية الدموية	حجم(ml)	سطح نسبي
الأبهر	100	1
الشرايين	450	
الشرينات		
الأوعية الشعرية	300	800
الوريدات	200	
الأوردة	2050	1,5
الأوردة الجوفاء		

جدول II



الشكل 5

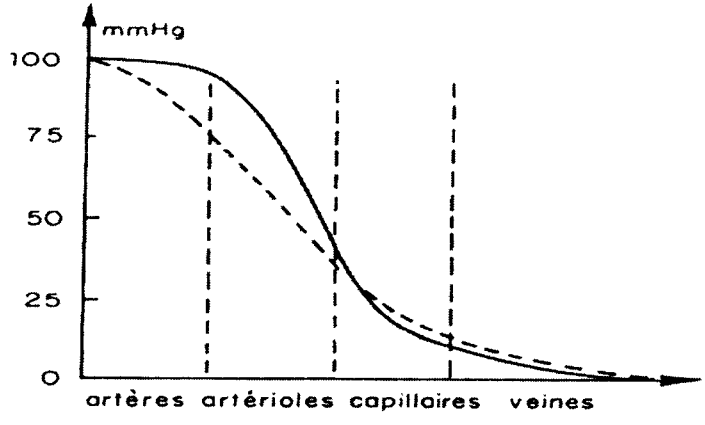
يمثل الخط المنقط تغيرات السطوح الكلية النسبية ويمثل الخط المستمر السرعة المتوسطة

يوضح (الشكل 5) بأن سطح الأوعية الشعرية هو 800 مرة أكبر من سطح مقطع الأبهر وبالتالي فإن سرعة انسياب الدم فيها هو أصغر 800 مرة. وأن الأوردة تشغل تقريباً 80% من الحجم الكلي مكونة بذلك خزاناً هاماً. أما في الدوران الصغير فإن توزعات الحجوم والسطوح مماثلة لتلك في الدوران الكبير.

بينما تتوزع مقاومة الأوعية الدموية للانسياب على مختلف العناصر المعتبرة كما هو موضح (في الجدول III) وذلك في حالة الانسياب الصفائحي حيث نقبل بتطبيق قانون بوازويل.

أبهر، شرايين ضخمة	10
شرايين وسطية وطرفية	15
شرينات	40
أوعية شعرية	30
أوردة	5

جدول III (%) لمقاومة الأوعية الدموية للانسياب



الشكل 6

الأوعية الدموية المقاومة(شرينات)، منحني مستمر في حالة التضيق، منحني منقط في حالة التوسع

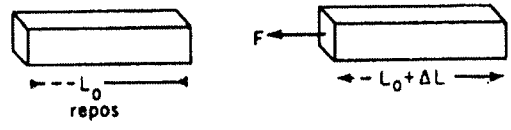
يوضح (الشكل 6) انخفاض الشحنة المتوسطة. فالشرينات وبسبب مشـــاركتها الكبيرة بالمقاومة الكلية (40%) تلعب دوراً أساسياً، كما أنها تحافظ علـــى التقلـــص المستمر المحرك للأوعية . فإذا استرخت هذه الشرينات فإن مشـــــاركتها بالمقاومـــة تنخفض؛ لذا فإن توزع الشحنة يأخذ مظهراً مختلفاً.

III – الأوعية الدموية، أقنية غير صلبة:

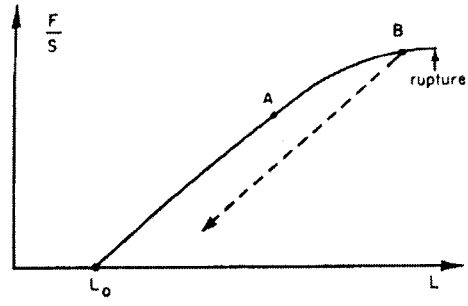
لقد تم اعتبار الأوعية الدموية وكأنها صلبة والانسياب وكأنه مستمر وهـــذا في الواقع ليس صحيحاً؛ لأن الأوعية الدموية مرنة وقابلة للتمدد وهذا يسمح بإعـــــادة الاستمرارية للتدفق التي لا تكون موجودة في البداية.

1 – مفهوم المرونة:

عند تطبيق قوة سحب F على شريحة صلبة مقطعها S وطولهـــــا L فإنهـــا ستخضع لتمدد قدره ΔL (الشكل 7).



الشكل 7



الشكل 8

وإن جميع هذه المقادير مرتبطة مع بعضها البعض بالعلاقة التالية (قانون هوك)

$$F = \gamma S.\frac{\Delta L}{L}$$

حيث γ معامل مرونة يونغ. وإنه كلما كان γ كبيراً كان الجسم أقل تشوهاً.

يوضح (الشكل8) تحقق قانون هوك، فتزايد الطول يكون خطياً في البداية ثم تأتي لحظة فيلتوي عندها المنحنى البياني ولا يكون قانون هوك محققاً.

فإذا أوقفنا السحب في النقطة A فالجسم الصلب يعود إلى طوله البدائي وفق المنحنى البياني نفسه، أما إذا أوقفنا السحب في النقطة B فالعودة تتم وفق المنحنى البياني المنقط، أي أن التشوة يصبح مستمراً.

لنعتبر الآن شريحة رقيقة مساحة مقطعها تساوي إلى جداء عرضها ℓ بسماكتها e (الشكل 9). وبالتالي يمكننا التعبير عن قانون هوك بالشكل التالي:

$$F = \gamma e.\ell\frac{\Delta L}{L}$$

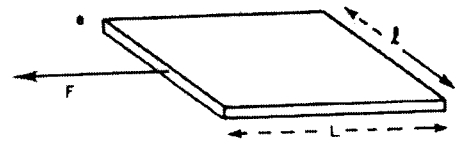


FIG. 12-9.

الشكل 9

أي:

$$\frac{F}{\ell} = \gamma.e\frac{\Delta L}{L}$$

حيث تعبر الكمية $\frac{F}{\ell}$ عن التوتر السطحي Ts. ويعرف التوتر السطحي على أنه القوة الضرورية لتقريب طرفي حاجز مرن يحتوي على شق طوله واحدة الأطوال.

2 – قانون لابلاس:

a – حالة أسطوانة مغلقة من طرفيها:

لنعتبر شريحة أسطوانية نصف قطرها r (شريان مثلاً) مسدودة من طرفيها ومنتفخة بسائل غير قابل للانضغاط. وبالتالي فإن توتر الشريحة الذي يسعى لإنقاص نصف قطر الأسطوانة سيخضع السائل إلى ضغط زائد (فرق الضغط)

$$\Delta P = P_{\text{int}} - P_{ext}$$

b – حالة أسطوانة مفتوحة الطرفين:

لنفترض بأن الأسطوانة التي نصف قطرها r مفتوحة من الطرفين وبالتالي فالتوتر يضغط السائل فيجعله ينساب وتعود الجملة إلى الحالة المتميزة بتوتر الشريحة والضغط الزائد المعدومين. فعندما يطبق القلب (مضخة) ضغطاً انتقالياً فإن هذا

الضغط يتسبب بتوسع الشريحة ومن ثم زيادة توترهـــا. وإن التوتـــر T والضغـــط الزائد ΔP مرتبطين مع بعضها البعض بقانون لابلاس:

$$\Delta P = \frac{T}{r}$$

c – حالة كرة:

إذا كان السطح المتوتر كرة (كرة تنس، فقاعة صابون) فإن توتر الســـطح T الموافق للضغط الزائد

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext}$$

هو بحيث إن: $$\Delta P = \frac{2T}{r}$$

d – حالة عامة:

مهما كان الشكل فإن الشريحة المتوترة قادرة على توازن فرق الضغط ما بـــين وجهيها (الضغط أكبر من جهة التقعر). ونستطيع أن نبين أنه إذا كان نصفا قطـــري الانحناء الرئيسيين r_1 و r_2 فإن :

$$\Delta P = T(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2})$$

إن هذه العلاقة التي تطبق مثلاً على أنبوب مقوس يمكن أن تطبق على كـــــرة وأسطوانة مأخوذة في حالات خاصة ($r_1 = r_2 = r$ بالنسبة للكرة و $r_2 = \infty$ بالنســـبة للأسطوانة) وتسمى الكمية ΔP بالضغط الانتقالي وهو عبارة عن الفرق مـــا بـــين الضغط السكوني داخل الوعاء الدموي والضغط السكوني خارج الوعاء القريب جداً من الضغط الجوي.

e – نتائج حول قانون لابلاس:

- إذا كان T توتر الشريحة الأسطوانية التي نصف قطرها r فإن قانون لابلاس يشير للضغط الزائد ΔP الضروري والكافي للحفاظ على نصف القطر هذا.

- إذا كان ΔP الضغط الزائد، فإن قانون لابلاس يشير إلى أنه لا يمكن بلوغ التوازن إلا إذا كان للشريحة نصف قطر r وتوتر T(r) بحيث إن :

$$\Delta P = \frac{T(r)}{r}$$

وإن تغير التوتر السطحي لشريحة ما مع نصف قطرها يتعلق بطبيعتها.

IV – عمل القلب:

يرافق انسياب الدم ضياع في الشحنة؛ لأن الدم سائل لزج وبالتالي يقع على عاتق المضخة القلبية تأمين الطاقة الضرورية لانسياب الدم وهي طاقة مشتته على شكل حرارة(في الدورانين المجموعي والرئوي).

1 – المخطط البياني ضغط – حجم:

يتم تقدير العمل الميكانيكي للمضخة القلبية باستخدام المخطط البياني ضغط – حجم داخل البطين.

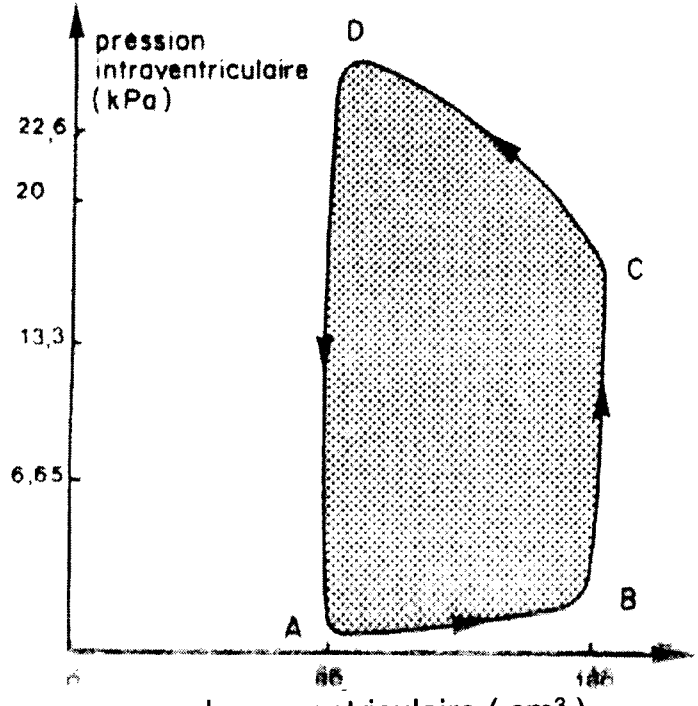
يوضح (الشكل10) المخطط البياني للبطين الأيسر. حيث يمكن تقسيم الدورة القلبية إلى أربعة أطوار:

AB: طور الامتلاء حيث يتضاعف عملياً الحجم البطيني عند ضغط ثابت قريب من الصفر.

BC: طور انقباض عضلة القلب المتساوي الحجم. وإن هذا التوتر لا يتسبب بـــأي عمل ميكانيكي.

CD: طور القذف عندما يصبح الضغط في البطين مساوياً للضغط الأبهري (نقطة C) يبدأ القذف.

DA: طور الاسترخاء المتساوي الحجم حيث تسترخي العضلة وبالتالي فالضغط يهبط بعنف.



الشكل 10

وإنه من السهل بيان العمل المؤمن بالبطين الممثل بالسطح المحصـــور بـــالمنحنى المغلق من (الشكل 10) وإنه ضمن الشروط الطبيعية عند الراحة، فـــإن الاســـتطاعة

(عمل خلال ثانية واحدة) المقدمة بالبطين الأيسر هي 1,1 واط بينما الاستطاعة المقدمة بالبطين الأيمن هي 0,2 واط. وبالتالي فالاستطاعة الميكانيكية للقلب عند الراحة هي إذاً صغيرة 1,3 واط.

بينما في حالة جهد عضلي هام، يضرب التدفق بأربعة والضغط بمقدار 1,5 مما يؤدي إلى أن الاستطاعة المطلوبة مضروبة بستة أي تساوي 8 واط.

2 – العمل الناتج عن التوتر القلبي والمردود الميكانيكي:

– العمل الميكانيكي للقلب:

العمل الميكانيكي للقلب ليس إلا جزءاً من الطاقة المطلوبة لعمله وبالفعل فكل عضلة تتطلب طاقة كي تتقلص حتى وإن لم تعمل . فعندما ندفع بقوة عربة مغرزة في الوحل فإن العضلات المتقلصة تستهلك طاقة حتى وإن لم تتحرك العربة (لا يوجد عمل) لقد أظهر هيل بأن العضلة الخاضعة لقوة بتوتر T خلال زمن Δt تستهلك طاقة متناسبة مع الجداء $T.\Delta t$ وأنه أثناء التقلص يكون العمل الناتج عن التوتر مساوياً:

$$\Delta W = \alpha \int_{t_1}^{t_2} T.dt$$

وأن المفاهيم الواردة أعلاه تطبق أيضاً على القلب .

– المردود الميكانيكي للقلب:

أثناء التقلص القلبي فإن الطاقة الكلية المطلوبة (الشحنة الكلية للقلب) تساوي إلى:

$$\int pdv + \alpha \int Tdt$$

أما العمل المقدم فيساوي إلى: $\int pdv$ وبالتالي فالمردود الميكـــانيكي للقلـــب يساوي إلى:

$$\rho = \frac{\int pdv}{\int pdv + \alpha \int Tdt}$$

وهو صغير من مرتبة 3% عند الراحة. ويمكن أن يصل إلى %(15-20) أثنـــاء الجهد وهذا يعني بأن الطاقة الأساسية مستخدمة لجعل القلب في حالة توتر.

وسنرى في الفقرة التالية كيف أن توتر القلب يتغير كالضغط داخل القلب.

وبتحضير قلب ــ رئة تبين بأنه إذا كان العمل الميكانيكي مضروباً بعشـــرين دون تزايد الضغط فإن استهلاك الأكسجين بالقلب لا يزداد إلا 5% تقريباً.

وبالعكس عند ارتفاع الضغط فإن الحدين من الشحنة الكلية يزدادان وبالتـــالي فإن استهلاك الأكسجين يزداد .

كما أن ازدياد التردد القلبي له تأثير على الحد $\int Tdt$ من خلال تزايد الزمـــن حيث يكون القلب متوتراً. ولهذا ينتج بأن جميع العوامل التي تزيد الضغط الدمـــوي والتردد القلبي تزيد الشحنة القلبية الكلية؛ لذا فالانفعال والقلق والتوتر العصبي جميعها تحرض القلب بصورة أكثر شدة من جهد عضلي معتدل خلال فترة زمنية طويلـــة منفذ بارتياح.

3 – العلاقة ما بين توتر عضلة القلب والضغط داخل البطين:

الحد T الذي يجب اعتباره في التكامل $\int Tdt$ المطبق على القلب هـــو التوتـــر السطحي. هذا ونستطيع تطبيق علاقة لابلاس التي تربط الضغط p داخـــل القلـــب بالتوتر السطحي T على العضلة القلبية:

$$P = T(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$$

فإذا قبلنا بأن التوتر T يتناسب مع السماكة e للعضلة القلبية فإن الجداء $e(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ ثابت.

وبمعنى أخر عندما يكون الانحناء كبيراً (نقطة من القلب) تكون السماكة صغيرة. ويحصل العكس على الوجوه الجانبية للبطين. وأن القيم التي وجدت من أجل $e(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ هي 0,055 للبطين الايمن و0,36 للبطين الأيسر وهي ذات أهمية في القصور القلبي الذي يترجم بازدياد حجم القلب المترافق بانخفاض الانحناءات؛ لذا بغية تطبيق ضغط من نفس المرتبة يجب زيادة توتر العضلة القلبية مما يتسبب بزيادة كبيرة للمقدار $\int Tdt$.

إذاً فالتوسع القلبي خطير جداً لأنه يزيد من شحنة القلب وتخفيض مردوده.

ونشير أيضاً إلى أنه في مستوى الصمامات القلبية يمكن أن تحدث نفخات، وذلك عندما ينفتح الصمام بشكل غير كامل (تضيق) حيث يمر الدم في الاتجاه الطبيعي مجتازاً فتحة تضيق أو عندما لا ينغلق الصمام بشكل كامل فإن الدم المار بشكل طبيعي مجتازاً الصمام المفتوح يحدث إذاً نفخات عندما يرتد مجتازاً الفتحة الضيقة للصمام المغلق نظرياً.

V – قياس تدفق القلب:

القياس المباشر للتدفق من خلال قياس حجم الدم المنساب خلال زمن محدد غير ممكن، وكذلك لا يمكن وضع وعلى التسلسل عداد التدفق الصناعي في دارة جريلن الدم؛ لذا تستخدم طرق غير مباشرة مستندة على مبدأين.

– مبدأ فيك:

لنعتبر عضو (الرئة في حالة قياس التدفق القلبي) يتبادل مع الوسط الخارجي نوع X من الجزيئات (O_2، CO_2 مثلاً) فإذا كانت:

D كمية X المتبادلة مع الوسط الخارجي خلال دقيقة واحدة.

Q التدفق الدموي معبراً عنه لتر/دقيقة.

E كمية X في لتر دم داخل إلى العضو.

S كمية X في لتر دم خارج من العضو.

وبالتعريف فإن التراكيز $E = \frac{dD}{dV}$ و $S = \frac{dD}{dV}$

عندما يعبر عن D بالغرام فإن E,S تكون غرام/لتر.

أما عندما يعبر عن D بالمول فإن E,S تكون مول/لتر.

فخلال دقيقة يكون حجم الدم الذي يدخل إلى العضو يساوي إلى حجم الدم الذي يخرج منه وكقيمة هي عبارة عن قيمة التدفق Q وبالتالي فإن كمية X التي تدخل بالدم إلى العضو خلال دقيقة هي EQ.

ونفس الشيء فإن كمية X التي تخرج بالدم خلال دقيقة هي: SQ

وبما أن الكمية المتبادلة بطريق غير دموي هي D يمكننا أن نكتب:

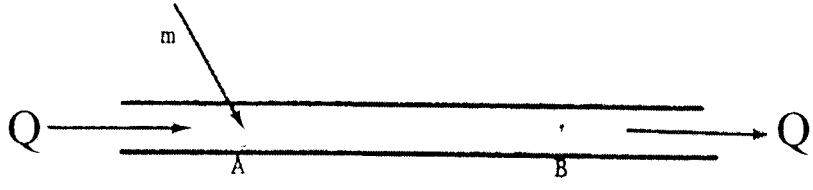
$$SQ = EQ \pm D$$

$$Q = \frac{D}{|S - E|}$$

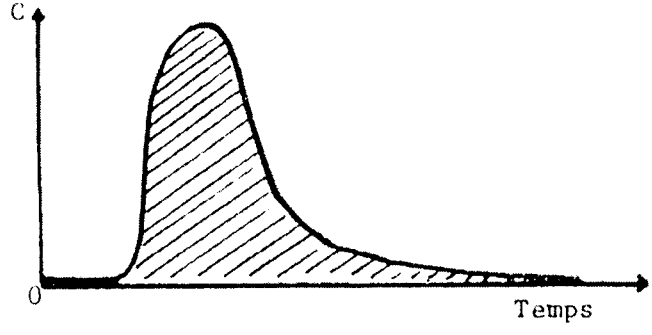
وعملياً يستخدم كجزيء X: الأكسجين وغازات فعالة إشعاعياً كـــالكزينون 133 أو الكريبتون 85 المحقونة في محلول تدفقه ثابت في الأذينة اليمنى والذي يستبعد بالرئتين. وعند معرفة التدفق وفرق التركيز الشرياني - الوريـــدي (S - E) يمكـــن الحصول على D (كمية مستهلكة أو متبادلة بالعضو خلال دقيقة).

- مبدأ استيوارت - هاملتون :

يمثل (الشكل11) قناة ينساب فيها سائل تدفقهQ. في اللحظة صفر يتم حقـــن كتلة m كمؤشر في النقطة A ثم يتم قياس التراكيز C لهذا المؤشر في السائل في النقطة B بتابعية الزمن فنحصل على المنحنى الممثل في (الشكل12).



الشكل 11



الشكل 12

فإذا كان dv الحجم المار في B خلال الزمن dt فيكون بالتعريف $Q = \frac{dv}{dt}$

ومنه $dv = Qdt$ فإذا كانت dm كتلة المؤشر المحتوى في الحجم dv وc التركيز في اللحظة t فيكون بالتعريف:

$$c = \frac{dm}{dv} \quad \text{ومنه} : \quad dm = cdv = cQdt$$

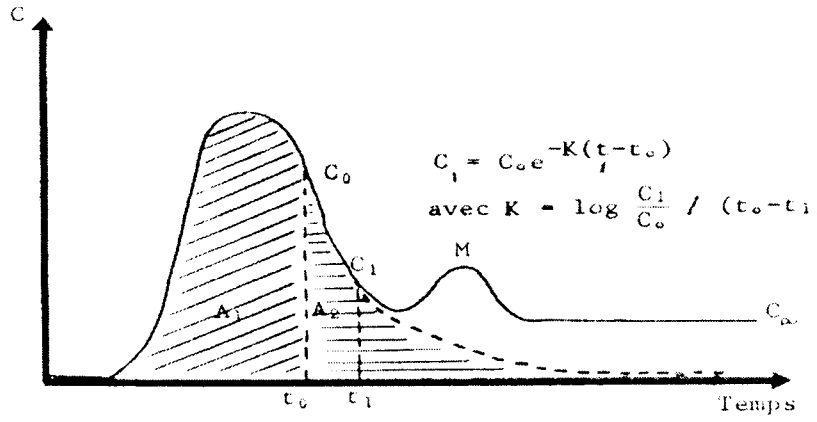
$$m = \int_0^{\infty} dm = \int_0^{\infty} cQdt$$

Q ثابت خلال الزمن:

$$m = Q\int_0^{\infty} cdt \Rightarrow Q = \frac{m}{\int_0^{\infty} cdt}$$

m كتلة المؤشر المحقون وهي معروفة. أما التكامل $\int_0^{\infty} cdt$ فيمكن إيجاده من قياس السطح المظلل والموجود ما بين المنحني ومحور الزمن؛ ولنوضح ذلك بتطبيق على قياس تدفق القلب.

إذا كان على سبيل المثال حقن المؤشر الذي يجب ألا ينتشر خارج الجملة الدورانية، يتم في القلب الأيمن وأن قياس التركيز يتم في الأبهر، فنحصل على المنحني البياني الذي يمثل التراكيز بتابعية الزمن (الشكل 13) الذي يسمح لنا باستنتاج اختلافين هامين بالمقارنة مع المنحني الذي تم الحصول عليه باستخدام أنبوب مفتوح. فمن جهة نرى أنه في نهاية التجربة (زمن كبير) لا ينعدم التركيز ولكن يبقى عند قيمة ما C_∞ (تركيز متبقي) ومن جهة أخرى فإن المنحني لا يظهر أبداً قمة وحيدة عظمى بل عدة شدات متناقصة. وأن القمة الأولى (M) الوحيدة من القمم العظمى الإضافية التي تكون ملحوظة.



الشكل 13

يتم قياس A_1 بالطريقة التقليدية ثم يتم استنتاج A_2 بالحساب وأن المنحني المنقط هو من الشكل التالي:

$$C_1 = C_0 e^{-k(t_1-t_0)}$$

وأن
$$K = \log \frac{c_1}{c_0} / (t_0 - t_1)$$

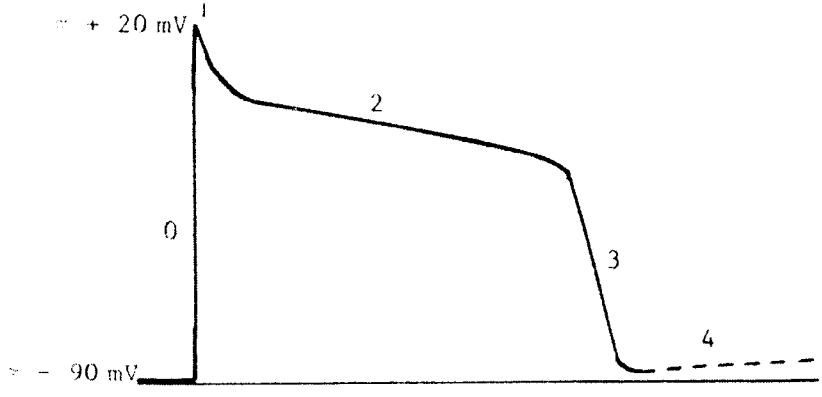
إن هذين الاختلافين آتيين من أن الدم غير مستبعد إلى الخارج.لكنه يجري ثانية في الأوعية الدموية وأن M تعود إلى أول إعادة جريان، كما أن C_∞ توافق تخفيف المؤشر في كامل الحجم الدموي.

VI – كمون التأثير القلبي:

الوصف : تكون أغشية الخلايا القلبية في حالة الراحة مستقطبة بحيث يكون داخل الخلية سالباً بالنسبة للخارج. وأن فرق الكمون الكهربائي الموجود ما بين طرفي الغشاء يسمى بكمون السكون.

عند التهيج أو إزالة الاستقطاب يصبح فرق كمون الانتقال الغشائي موجباً وهو عبارة عن كمون التأثير.

يوضح (الشكل 14) كمون تأثير خلايا العضلة القلبية المنقسم إلى خمسة أطوار متتالية:



الشكل 14

الطور (0) أو إزالة الاستقطاب السريع حيث من خلاله يجتاز كمون الغشاء بعنف من قيمة كمون السكون (حوالي 90mv-) إلى (حوالي 20mv+).

يستمر هذا الطور زمناً صغيراً جداً وإن سرعته مميزة بالسرعة العظمى لإزالة الاستقطاب التي يتم الحصول عليها باشتقاق الكمون الكهربائي بالنسبة للزمن. والهام في هذه السرعة العظمى هو أن سرعة النقل داخل القلب متناسبة معها.

الطور (1) أو إعادة الاستقطاب السريع البدائي المرتكز على الانخفاض الطفيف في كمون الغشاء.

الطور(2) أو التسطح (العتبة) والذي سمي بذلك لأن كمون الغشاء لا ينخفض إلا قليلاً أثناء فترته .

الطور (3) أو إعادة الاستقطاب السريع وهو الزمن الذي من خلاله ينخفض كمون الغشاء بعنف.

الطور (4) أو إزالة الاستقطاب الانبساطي وهو صعود طفيف لكمون الغشاء.

وتظهر الدراسة الدقيقة أنه طالما أن إعادة الاستقطاب لا تقود كمون الغشاء إلى قيمة من مرتبة mv (55- — 50-) فإنه لا يوجد انطلاقه لإزالة استقطاب جديد؛ ولهذا يوجد ما بين بداية إزالة الاستقطاب السريع واللحظة حيث يصل الكمون إلى هذه القيمة نوبة عدم التأثير.

- التفسير الشاردي:

تعود تغيرات كمون الغشاء إلى تغيرات نفوذية الغشاء للشوارد المختلفة وإن شاردة الكالسيوم تلعب دوراً هاماً في الخلايا القلبية (تقلص العضلة) ففي الطور (0) تنفتح أقنية الصوديوم فتزداد نفوذية الغشاء لهذه الشاردة.

أما في الطور (1) فيوجد تعطل جزئي لأقنية الصوديوم وانتقال Cl^- بينما في الطور (2) تنفتح أقنية Ca^{++} بينما لا تكون أقنية الصوديوم مغلقة كلياً. وبالتالي فإن انتقال Ca^{++} و Na^+ يتم من خارج الخلية إلى داخلها بينما K^+ تنتشر من الداخل إلى الخارج.

في الطور (3) تنفتح أقنية K^+ بينما تنغلق أقنية Ca^{++}. أخيراً في الطور (4) يوجد انفتاح جزئي لأقنية Na^+ بالنسبة لبعض المؤلفين. بينما بالنسبة للبعض الآخر فإن هذا الطور يعود إلى انغلاق متتالي لأقنية K^+ .

– الفائدة:

تسمح معرفة كمونات التأثير القلبي بتقدمات في علاج الاضطرابات القلبية وعلى الأخص عدم الانتظام في نبض القلب.

فبعض الأدوية تثبط أقنية الصوديوم مخفضة بذلك السرعة العظمى للنقل السريع ومتسببة بتباطؤ سرعة النقل داخل القلب. كما أنها تستطيع أيضاً زيادة فترة عدم التأثر. وبعضها الأخر يثبط إما أقنية الكالسيوم وإما أقنية البوتاسيوم.

مسائل غير محلولة

- احسب السرعة المتوسطة للدم في الأبهر عند شخص تدفقه الدموي $5\frac{\ell}{\min}$ إذا كان مقطع الأبهر $3cm^2$ ثم بين ماذا تعني كلمة متوسط هنا ؟

- احسب السرعة المتوسطة للدم في الأوعية الشعرية عند شخص تدفقه الدموي $5\frac{\ell}{\min}$. علماً بأن المقطع الكلي للأوعية الشعرية هو $2000cm^2$ ثم بين ماذا تعني كلمة متوسط هنا ؟

- احسب السرعة المتوسطة للدم في الأوردة الجوفاء عند شخص تدفقه الدموي $5\frac{\ell}{\min}$ علماً بأن المقطع الكلي للأوردة الجوفاء هو $4cm^2$.

- احسب عمل ضغط البطين الأيسر عند شخص يبلغ حجم القذف الانقباضي 70ml والضغط المتوسط للدم في الأبهر 100mmHg.

- احسب العمل الحركي للبطين الأيسر عند شخص يبلغ حجم القذف الانقباضي 70ml علماً بأن السرعة المتوسطة للدم في الأبهر هي 0,3m/s والكتلة الحجمية للدم هي $1050Kg/m^3$.

- احسب الاستطاعة التي يقدمها القلب إلى الدم إذا كان عمل القلب واحد جول لكل دورة قلبية وتردده القلبي 75 انقباض في الدقيقة.

- احسب فرق الضغط السكوني للدم ما بين القدمين وقمة الرأس لرجل طوله وهو واقف1,70 متر.

- ما هو مقدار تغير ضغط الدم عند مستوى الرأس لشخص ينتقل مـــن وضعيـة الاستلقاء إلى وضعية الجلوس إذا علمت أن البعد الفاصل ما بين القلب والمخ هـو حوالي 40cm وأن ضغط الدم عند مستوى قلبه ثابت ؟

- احسب قيمته الضغط الحركي للدم في الأبهر إذا علمت أن سـرعة الـدم فيـه 0,3m/s.

- احسب الاستهلاك في سكر الدماغ لشخص عنده 4m mole/l سكر في الشـرايين السباتية و 3,4m mole/l سكر في الأوردة الحلقية إذا علمت بأن التدفق الدمـوي المخي هو 0,8l/min.