

## المحاضرة الرابعة

### فيزيولوجيا الجهاز القلبي الوعائي (1) Cardiovascular Physiology

إنّ الوظيفة الأساسية للجهاز القلبي الوعائي هي إيصال الدم إلى الأنسجة، بحيث يزود الخلايا بعناصر غذائية ضرورية للاستقلاب وإزالة الفضلات المنتجة من قبل الخلايا. يعمل القلب بمثابة مضخة (يحتوي 7% من حجم الدم الكلي)، والتي عند تقلصها ستولد الضغط اللازم لتوجيه الدم خلال سلسلة من أوعية دموية. تُدعى الأوعية التي تنقل الدم من القلب إلى الأنسجة بالشرايين Arteries، والتي تكون معرضة لضغط عالٍ وتحتوي على نسبة صغيرة نسبياً من حجم الدم الكلي (13%). بينما الأوردة Veins، فتلك تنقل الدم من الأنسجة عائداً نحو القلب، وتكون معرضة لضغط منخفض وتحتوي على النسبة الأكبر من حجم الدم الكلي (64%). يتداخل بين الأوردة والشرايين ضمن الأنسجة أوعية دموية رقيقة الجدران تُدعى الشعيرات الدموية Capillaries (تحتوي 7% من حجم الدم الكلي)، حيث يتم تبادل العناصر المغذية، والفضلات، والسوائل عبر جدران هذه الشعيرات.

يشارك الجهاز القلبي الوعائي أيضاً في العديد من الوظائف الاستجابية Homeostatic functions:

- حيث يساهم في تنظيم ضغط الدم الشرياني.
- يعمل على إيصال الهرمونات المنظمة من غدد الصم إلى مواقع عملها في أنسجة الهدف.
- يساهم في تنظيم حرارة الجسم.
- يشارك في تعديلات استجابية على حالات فيزيولوجية متغيرة مثل: النزف، والتمارين، وتغيرات الوضعية (أو الجاذبية) posture.

### دارات الجهاز القلبي الوعائي Circuitry of the Cardiovascular System

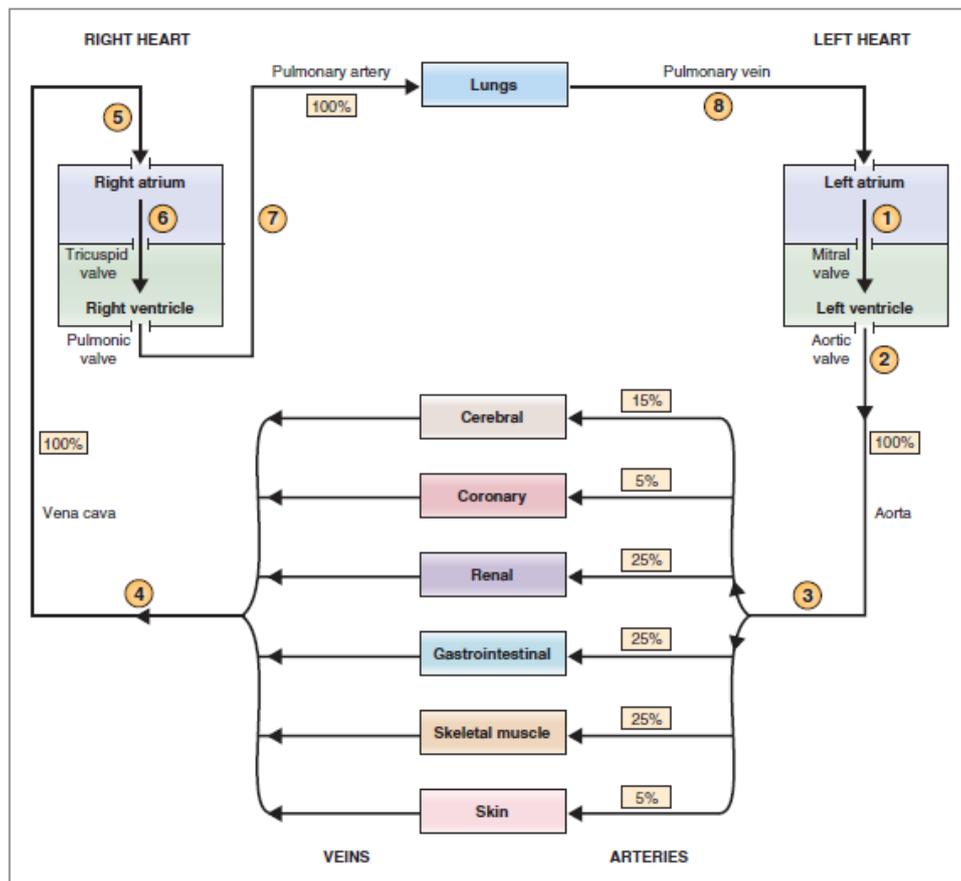
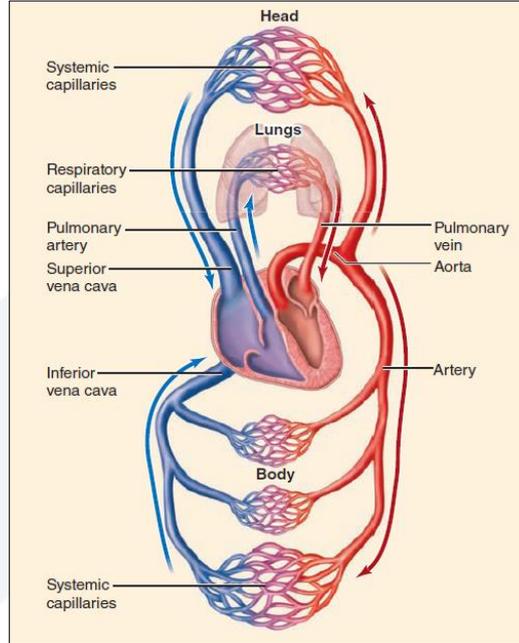
يمثل الشكل (1)، رسماً تخطيطياً لدارات الجهاز القلبي الوعائي، حيث يظهر الجانبان الأيمن والأيسر من القلب والأوعية الدموية في علاقتهما مع بعضهما الآخر. يمتلك كل جانب من القلب حجرتين اثنتين وهما الأذينة Atrium والبطين Ventricle تتصلان بواسطة دسامات (صمامات) وحيدة الاتجاه، تدعى بالدسامات الأذينية البطينية Atrioventricular (AV) Valve صُممت دسامات AV ليتدفق الدم وفق اتجاه واحد من الأذينة إلى البطين.

يُدعى كل من القلب الأيسر، والشرايين الجهازية، والشعيرات الدموية الجهازية، والأوردة الجهازية بالدوران الجهازي Systemic circulation (أو الدوران المحيطي)، حيث يضخّ البطين الأيسر الدم نحو جميع أعضاء الجسم باستثناء الرئتين. يدعى كل من القلب الأيمن والشرايين الرئوية، والشعيرات الدموية الرئوية، والأوردة الرئوية بالدوران الرئوي Pulmonary circulation، حيث يضخّ البطين الأيمن الدم نحو الرئتين.

يعمل كل من القلب الأيمن والأيسر بشكل متسلسل بحيث يتم ضخّ الدم بالتتابع من القلب الأيسر إلى الدوران الجهازي، ثم إلى القلب الأيمن، فالدوران الرئوي، وبعدها يعود إلى القلب الأيسر.

يدعى معدّل ضخ الدم من أيّ بطين بنتاج القلب Cardiac output. وفي الحالة المستقرة، يتساوى نتاج القلب للبطين الأيسر مع مثيله في البطين الأيمن لأنّ كلا جانبي القلب يعملان بشكل متسلسل. يدعى معدّل الدم العائد من

الأوردة إلى الأذينة بالعود الوريدي Venous return. ونجد أيضاً أنّ العود الوريدي إلى القلب الأيسر يتساوى مع مثيله إلى القلب الأيمن في الحالة المستقرّة.



الشكل (1): الأوعية الدموية في الجسم، ودارات الجهاز القلبي الوعائي.

### مراحل دورة واحدة كاملة خلال الجهاز القلبي الوعائي:

- 1- يملأ الدم المؤكسج البطين الأيسر. يعود الدم الذي تمّت أكسجته في الرئتين إلى الأذينة اليسرى عبر الأوردة الرئوية الأربعة. ثمّ يتدفق هذا الدم من الأذينة اليسرى إلى البطين الأيسر من خلال الدسّام التاجي (ثنائي الشرف) Mitral valve (دسّام AV للقلب الأيسر).
- 2- يُقذف الدم من البطين الأيسر نحو الأهر. يُغادر الدم البطين الأيسر من خلال الدسّام الأهرّي Aortic valve (الدسّام الهلالي Semilunar في الجانب الأيسر من القلب)، والذي يتوضّع بين البطين الأيسر والأهر. عندما يتقلص البطين الأيسر، سيزداد الضغط ضمنه مؤدياً إلى انفتاح الدسّام الأهرّي قاذفاً الدم عبره بقوة (يدعى حجم الدم المقذوف من البطين الأيسر خلال واحدة الزمن بنتاج القلب). يتدفق الدم بعد ذلك خلال الجهاز الشريانيّ، مدفوعاً بالضغط الناتج عن تقلص البطين الأيسر.
- 3- توزّع نتاج القلب بين الأعضاء المختلفة. يُوزّع كامل نتاج القلب من البطين الأيسر بين أجهزة الأعضاء عبر مجموعة من شرايين متوازية. وهكذا بشكل متزامن، يتم توصيل ما يقارب 15% من نتاج القلب إلى الدماغ عبر الشرايين الدماغية، و5% إلى القلب عبر الشرايين الإكليلية، و25% إلى الكليتين عبر الشرايين الكلوية، 25% للمعدة والأمعاء، 25% للعضلات الهيكلية، 5% للجلد. وبالنظر إلى هذا الترتيب المتوازي Parallel arrangement لأجهزة الجسم، فإنّ مجمل الدم الجهازّي المتدفق يجب أن يعادل نتاج القلب.
- 4- تجمّع الدم المتدفق من الأعضاء ضمن الأوردة. يدعى الدم الخارج من الأعضاء بالدم الوريديّ، والذي يحتوي على الفضلات المنتجة من الاستقلاب، مثل ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub>. يُجمّع هذا الدم الوريديّ المختلط في وريديات وأوردة متوسطة ذات حجم متزايد لتنتهي أخيراً في أكبر الأوردة، وهو الوريد الأجوف Vena cava (السفلي، والعلوي). ثم يحمل الوريدان الأجوفان الدم نحو القلب الأيمن.
- 5- العود الوريديّ إلى الأذينة اليمنى. تمتلئ الأذينة اليمنى بالدم، وذلك لأنّ ضغط الوريد الأجوف أعلى من الأذينة اليمنى، وهذا ما يدعى بالعود الوريديّ Venous return. في الحالة المستقرّة، يعادل العود الوريديّ إلى الأذينة اليمنى نتاج القلب من البطين الأيسر.
- 6- امتلاء البطين الأيمن بالدم الوريديّ المختلط. يتدفق الدم الوريدي المختلط من الأذينة اليمنى إلى البطين الأيمن عبر الدسّام AV في القلب الأيمن والذي يدعى بالدسّام ثلاثي الشرف Tricuspid valve.
- 7- يُقذف الدم من البطين الأيمن إلى الشريان الرئويّ. عندما ينقبض البطين الأيمن، يُقذف الدم عبر الدسّام الرئوي Pulmonic valve (الدسّام الهلالي في الجانب الأيمن من القلب) إلى الشريان الرئويّ، والذي يحمل الدم إلى الرئتين. لاحظ أنّ نتاج القلب المقذوف من البطين الأيمن مماثل لنتاج القلب الذي كان قد قذف من البطين الأيسر. في الأسرة الشعريّة ضمن الرئتين، يضاف الأكسجين O<sub>2</sub> إلى الدم من الغاز السنخيّ، ويزال CO<sub>2</sub> من الدم ويضاف للغاز السنخيّ. وهكذا، يمتلك الدم الخارج من الرئتين O<sub>2</sub> أكثر و CO<sub>2</sub> أقل من الدم الداخل إلى الرئتين.
- 8- عودة الدم المتدفق من الرئتين إلى القلب عبر الوريد الرئويّ. يتم إرجاع الدم المؤكسج إلى الأذينة اليسرى عبر الأوردة الرئوية الأربعة لبدء دورة جديدة.

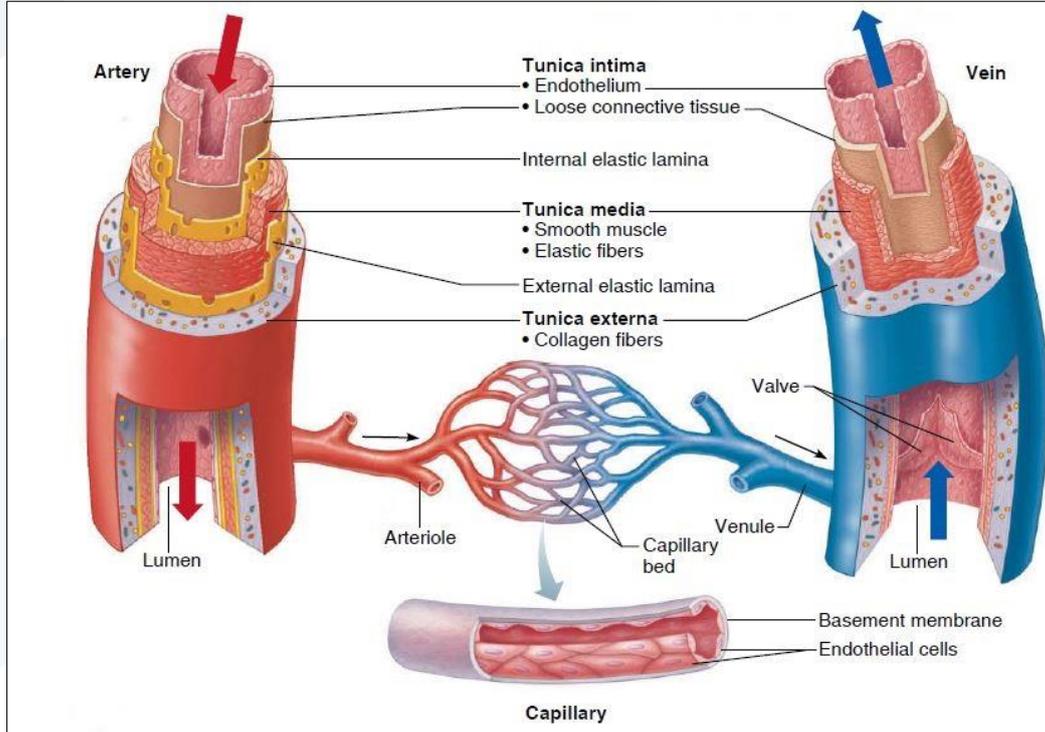
وبالنتيجة تشكل الأوعية الدموية في جسم الإنسان جهازاً دورانياً مغلقاً لاستلام المواد وتسليمها Closed Delivery System؛ إذ يبدأ بالقلب وينتهي به.

## Characteristics and Types of Blood Vessels

تختلف الأنماط الثلاثة من الأوعية الدموية (الشرايين، والأوردة، والشعيرات) بالطول، والقطر، وثنائية الجدار، والنسيج المكون لها.

تتكون جدران الأوعية الدموية من ثلاث طبقات (غلاطات) تحيط بلمعة الوعاء (باستثناء الشعيرات الدموية) ومرتببة من الداخل إلى الخارج على النحو الآتي، الشكل (2):

1. الطبقة (غلاطة) داخلية (باطنة) **Tunica intima (intema) or interna**: تتألف من بطانة ظهارية رصفية (حرفشية) Endothelium ناعمة ملساء (تخفف كثيراً من احتكاك الدم مع جدران الوعاء) تغطيها طبقة رقيقة من النسيج الضام الرخو Loose connective tissue.
2. الطبقة الوسطى (وسطانية) **Tunica media**: تتألف من خلايا عضلية ملساء Smooth muscle دائرية التوضع يتخللها طبقات من الألياف المرنة (المرنين أو الإيلاستين) Elastic fibers، تسمح الألياف العضلية الملساء بتقبض الوعاء وتوسيعه، بينما تسمح الألياف المرنة بتمدده (تمططه) وارتداده Stretch and Recoil (نلاحظ أن هذه الطبقة تكون ثخينة في الشرايين الكبيرة مع وجود طبقتين من الألياف المرنة في مقارنة مع الأوردة الكبيرة).
3. الطبقة الخارجية (البرانية أو الظاهرة) **Tunica externa or adventitia**: تتكون بصورة أساسية من ألياف الكولاجين Collagen fibers المحبوكة ضمن نسيج ضام (رخو) Connective tissue، وظيفتها حماية الوعاء الدموي ودعمه، وتثبيته على البنى المجاورة له.



الشكل (2): تركيب الجدار عند كل من الشريان Artery والوريد Vein والشعيرات Capillary.

أما الشعيرات الدموية **Capillaries** فهي أصغر الأوعية الدموية قطراً، تصل ما بين الشريينات (التي تمدها بالدم) والوريدات (التي ينزح منها الدم)، وتقتصر بنية جدارها على طبقة أو غلالة داخلية بطانية رقيقة يحيط بها غشاء قاعدي **Basement membrane**. تجعلها شديدة التلاؤم مع دورها الوظيفي المتمثل في تبادل المغذيات والشوارد والهرمونات وغيرها من المواد بين الدم والسائل الخلالي.

يمكن تصنيف الشرايين من حيث حجمها النسبي ووظيفتها الأساسية إلى، الشكل (3):

1. **الشرايين الكبيرة Large arteries المرنة (شرايين نقل الدم):** وهي الشرايين الأقرب إلى القلب (الأهر وفروعه الرئيسية)، تتميز بثخانة جدرها، وأقطارها الكبيرة، ومرونتها الفائقة مما يجعل منها الطريق الأقل مقاومة لنقل الدم من القلب إلى الشرايين المتوسطة القطر التالية لها (العضلية). تحوي جدر هذه الشرايين على كميات كبيرة من الألياف المرنة (المزينة) ولا سيّما في الطبقة الوسطى تفوق ما يوجد في أي نمط آخر من الأوعية الدموية؛ مما يسمح لها بالتمدد تحت تأثير الضغط المطبق عليها والارتداد إلى قطرها الأولي بعد زوال الضغط، وتتجلى أهمية هذه المرونة في تحويل نتاج القلب المنقطع إلى جريان مستمر، كما توفر في إنفاق الطاقة؛ إذ تمتص الطاقة الناجمة عن الدفقة الدموية في أثناء الانقباض القلبي ثم تعيدها خلال انبساطه.

#### فكّر ثم أجب:

يدعى حجم الدم الموجود في الشرايين بالحجم المُجهد **Stressed volume**.

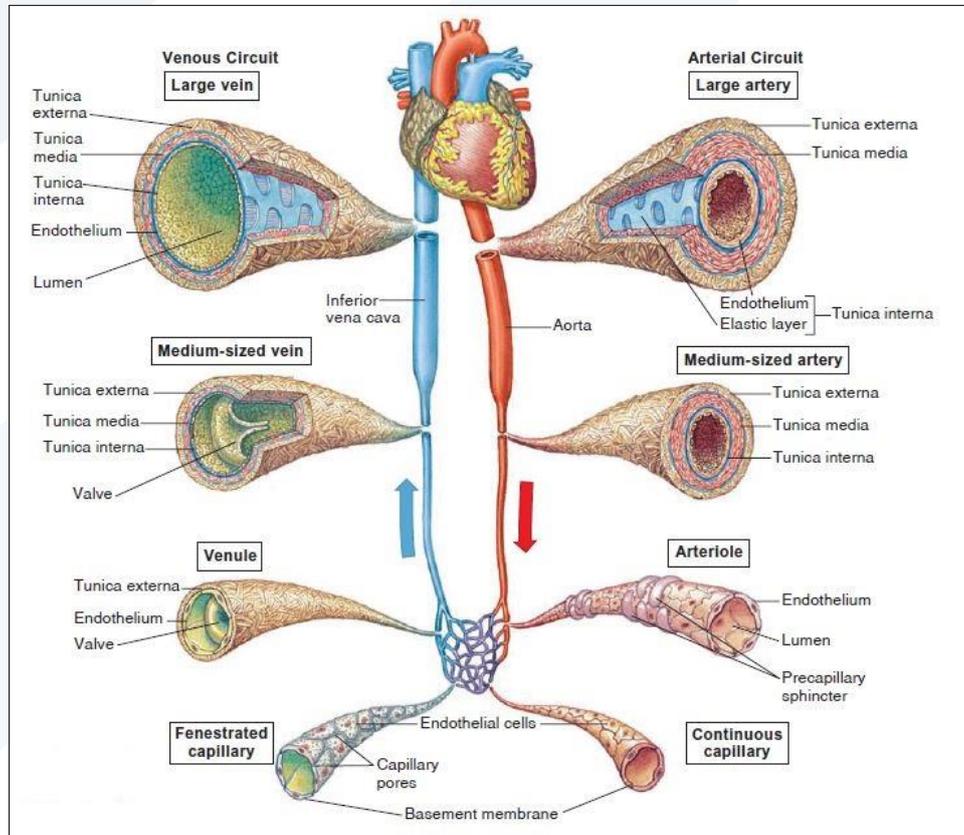
2. **الشرايين المتوسطة Medium-sized arteries العضلية (شرايين توزيع الدم):** وهي تلي الشرايين الكبيرة المرنة، وتتولى مهمة توزيع الدم إلى أعضاء الجسم، تتميز بوجود كمية أقل من الألياف المرنة بالمقارنة مع الشرايين الكبيرة، ولكن الألياف العضلية الملساء ضمن طبقتها الوسطى تكون فعالة أكثر، فهذه الشرايين تكون قابلة للتقلص أكثر من قابليتها للتمدد.
3. **الشريينات Arterioles:** وهي أصغر الشرايين (الفروع النهائية للشرايين)، تتألف طبقتها الوسطى بشكل رئيس من الألياف العضلية الملساء مع القليل من الألياف المرنة المتناثرة فيها، مما يجعلها تمتلك جدرّاً عضلية قوية تستطيع غلق هذه الشريينات تماماً أو تسمح لها بالتوسع عدة أضعاف، وهي بذلك تعمل كدسّامات تحكم **Control valves** بمرور الدم إلى الشعيرات (السرير الشعيري)، وتملك قدرة كبيرة على تغير حجم الجريان الدموي (نتيجة مجموعة من المنهات العصبية، والهرمونية والكيميائية) وذلك استجابة لحاجات النسج.

#### ادرس الحالة:

الشريينات ليست فقط موقع المقاومة الأعلى في الجملة الوعائية، ولكنها أيضاً المكان الذي يمكن تغيير المقاومة فيه.

كذلك الأمر بالنسبة للأوردة فيمكن تصنيفها من الأصغر إلى الأكبر، الشكل (3):

1. **الوُريدات Venules:** تتحد نهايات الشعيرات الدموية الوريدية، فتشكل وُريدات الصغيرة تنزح الدم مباشرة من الشعيرات الدموية، أما الوُريدات الأكبر فتمتلك جدرها طبقة (غلالة) خارجية رقيقة وطبقة وسطى مبعثرة وطبقة داخلية بطانية بالإضافة لوجود الدسّامات في لمعتها. وتجدر الإشارة إلى أن ضغط الدم يواصل هبوطه في الوُريدات نتيجة لزيادة المقاومة لجريانه فيها.
2. **الأوردة المتوسطة Medium-sized veins:** تتلاقى نهايات الوُريدات، وتتحد لتشكل أوردة متوسطة الحجم تتألف جدرها من الطبقات (الغلالات) الثلاث المذكورة سابقاً، ونتيجة لهبوط ضغط الدم المستمر والمتواصل في الأوردة ترق جدرها دون أن يتسبب ذلك بمخاطر أو حوادث تمزق وعائي، ويستدعى هذا الضغط الدموي المنخفض وجود تلاؤمات (آليات) خاصة تساعد وتحسن عودة الدم إلى القلب مثل: الدسّامات الوريدية، والمضخة العضلية، والمضخة التنفسية.
3. **الأوردة الكبيرة Large veins:** تتحد الأوردة المتوسطة لتشكل الأوردة الكبيرة (الوريدان الأجوفان العلوي والسفلي) التي تمتلك جدرها كذلك الطبقات الثلاث المعروفة (الطبقة الخارجية البرانية تكون أثنى هذه الطبقات)، إلا أن هذه الجدر تكون أكثر رقة، ولمعاتها أشد اتساعاً (مع غياب الصمامات الوريدية) بالمقارنة مع الشرايين.



الشكل (3): الأنماط المختلفة للأوعية الدموية في الجسم.

## حركية الدم Hemodynamics

يشير مصطلح حركية الدم إلى المبادئ التي تحكم تدفق الدم في الجهاز القلبي الوعائي. هذه المبادئ الفيزيائية الأساسية هي نفسها المطبقة على حركية السوائل بشكل عام. تطبق مفاهيم التدفق (الجريان)، والضغط، والمقاومة، والمطاوعة (السعة أو الوساعة) على تدفق الدم من وإلى القلب وداخل الأوعية الدموية.

### التدفق (الجريان) الدموي Blood Flow

يعني كمية الدم التي تتجاوز نقطة معينة من الدوران خلال فترة زمنية محددة، ويعبر عنه عادة بالملييلتر أو اللتر في الدقيقة. يبلغ التدفق الدموي الإجمالي (الكلبي) لشخص بالغ في حالة الراحة 5000 مل/د (5 ل/د) وهذا يعادل النتاج القلبي Cardiac output؛ لأنه يمثل كمية الدم التي يضخها القلب خلال فترة من الزمن وهي الدقيقة.

### سرعة تدفق (جريان) الدم Velocity of Blood Flow

إن سرعة تدفق الدم هي معدل إزاحة الدم خلال واحدة الزمن. تختلف الأوعية الدموية في الجهاز القلبي الوعائي من حيث القطر ومساحة المقطع العرضي. تمتلك هذه الفروقات في القطر والمساحة بدورها تأثيرات عميقة على سرعة التدفق، الشكل (4).

تتراوح مساحة المقاطع العرضية للأوعية الدموية على النحو الآتي:

- الأهر: 2.5 سم<sup>2</sup>.
- الشرايين الأصغر: 20 سم<sup>2</sup>.
- الشريينات: 40 سم<sup>2</sup>.
- الشعيرات: 2500 سم<sup>2</sup>.
- الوريدات: 250 سم<sup>2</sup>.
- الأوردة الأصغر: 80 سم<sup>2</sup>.
- الوريدين الأجوفين: 8 سم<sup>2</sup>.

نلاحظ أن مساحة المقاطع العرضية للأوردة أكبر منها للشرايين وهذا يفسر كبر حجم الدم في الجهاز الوريدي مقارنة مع الجهاز الشرياني.

وبما أن حجم الجريان الدموي هو نفسه في كل أقسام جهاز الدوران لذلك تتناسب سرعة هذا الجريان عكساً مع مساحة المقطع العرضي للوعاء الدموي، ويمكن التعبير عن سرعة التدفق الدموي بالمعادلة الآتية:

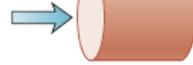
$$v = Q/A$$

حيث:

- $v$  (Velocity of blood flow) = سرعة التدفق الدموي وتقدر ب (سم/ثا).
- $Q$  (Flow) = تدفق أو جريان الدم ويقدر ب (مل/ثا).
- $A$  (Cross-sectional area) = مساحة المقطع العرضي ويقدر ب (سم<sup>2</sup>).

$$v = Q/A$$

10 mL/s



Area (A)

1 cm<sup>2</sup>

10 cm<sup>2</sup>

100 cm<sup>2</sup>

Flow (Q)

10 mL/s

10 mL/s

10 mL/s

Velocity (v)

10 cm/s

1 cm/s

0.1 cm/s

الشكل (4): تأثير قطر الوعاء الدموي على سرعة جريان الدم.

كما نعلم أن الجريان الدموي = 5 ل/د

= 5000 مل/د

= 83.3 مل/ثا

وبالتالي تكون سرعة الجريان الدموي في الشعيرات = 2500/83.3 = 0.03 سم/ثا

= 0.3 مم/ثا

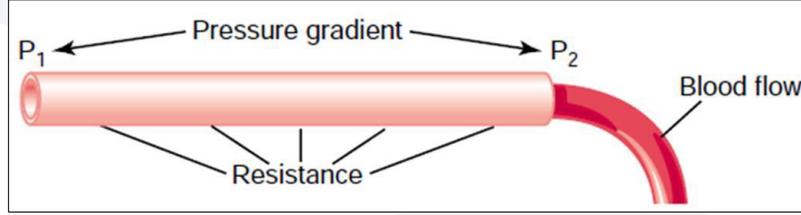
وبما أن طول الشعيرات النموذجي يتراوح بين 0.3 إلى 1 مم، فإن الدم لا يبقى فيها إلا حوالي 1-3 ثانية فقط، والمذهل في الأمر أن جميع عمليات الانتشار تتم عبر جدر الشعيرات الدموية خلال هذا الزمن القصير جداً.

### العلاقة بين تدفق الدم، والضغط، والمقاومة Relationships Between Blood Flow, Pressure, and Resistance

يخضع تدفق الدم ضمن الأوعية الدموية الشكل (5)، لتأثير قوتين أساسيتين:

1. فرق الضغط بين طرفي الوعاء الدموي، وينجم عن الفعالية القلبية.
2. مقاومة التدفق أو المقاومة الوعائية: هي إعاقة (ممانعة) جريان (تدفق) الدم في الوعاء، وهي تقيس مقدار الاحتكاك الذي يواجهه الدم عندما يمر في الوعاء، وهناك مصطلحان: المقاومة المحيطية الكلية، والمقاومة الرئوية الكلية. تتعلق المقاومة الوعائية بـ:

- نصف قطر الوعاء؛ حيث تتناسب مقاومة الجريان عكساً مع نصف قطر الوعاء.
- لزوجة الدم: المقاومة الداخلية للتدفق، وهي خاصية موجودة في كل السوائل، وتتعلق بثخانة السائل. كلما زادت اللزوجة نقص انزلاق الجزيئات بالنسبة لبعضها البعض، وأصبحت حركة السائل أكثر صعوبة. إن الدم أكثر لزوجة من الماء؛ لاحتوائه على العناصر الخلية والبروتينات البلازمية، لذا فهو يجري بشكل أبطأ تحت نفس الشروط. لزوجة الدم ثابتة تقريباً، ولكن احمرار الدم يزيد من اللزوجة وبالتالي من المقاومة، أما عند نقص الكريات الحمراء كما في فاقات الدم فتتخفف اللزوجة ومن ثم تنخفض المقاومة لجريان الدم (العلاقة طردية بين اللزوجة والمقاومة).



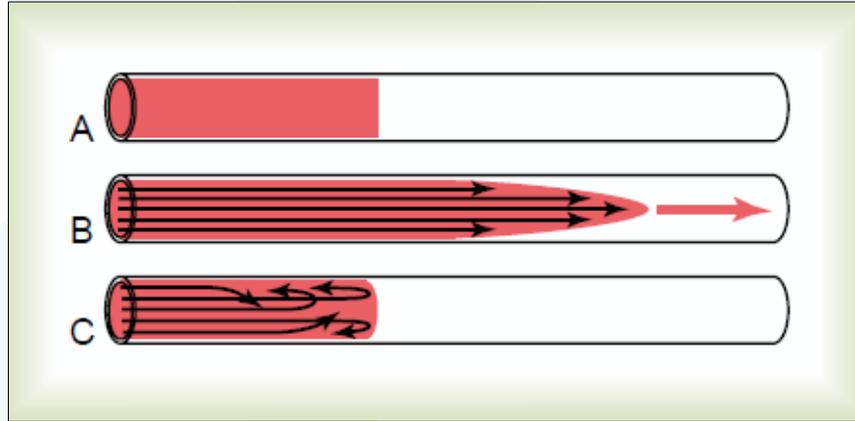
الشكل (5): العوامل المؤثرة على الجريان الدموي.

### الجريان الصفائحي (الانسائي) Laminar Flow

عندما يجري الدم بسرعة ثابتة عبر وعاء أملس طويل فإنه يجري في خطوط انسيابية Streamlines بحيث تحافظ كل طبقة من الدم على المسافة نفسها بينها وبين جدار الوعاء، ويبقى القسم المركزي من الدم في مركز الوعاء، يدعى هذا النمط من الجريان بالجريان الصفائحي laminar flow أو الجريان الانسيابي وهذا يعاكس الجريان المضطرب Turbulent flow؛ حيث يجري الدم في جميع الاتجاهات ويمتزج بشكل مستمر داخل الوعاء.

توضّح التجربة المبيّنة في الشكل (6)، الوعاء A الذي يحتوي سائلان مختلفان ولكن بدون وجود لأي جريان فيه، ولكن عند إحداث الجريان يتشكل بعد ثانية بين السائلين سطح مشترك بشكل قطع مكافئ Parabolic كما يظهر في الوعاء B؛ حيث أن القسم القريب من جدار الوعاء بالكاد قد تحرك، بينما القسم الأبعد عن الجدار قد قطع مسافة صغيرة، أما القسم الواقع في المركز فقد قطع مسافة طويلة.

وسبب هذا المظهر أن الجزيئات الملاصقة للجدار تتحرك بصعوبة بسبب احتكاكها به (مقاومة جريان كبيرة)، بينما تنزلق فوقها الطبقة الثانية من الجزيئات، وتنزلق الثالثة فوق الثانية، والرابعة فوق الثالثة وهكذا، لذلك يتمكن السائل الموجود في المركز من أن يتحرك بسرعة.



الشكل (6): تجربة توضّح الجريان الصفائحي والمضطرب.

قد يصبح الجريان مضطرباً Turbulent كما في الوعاء C، عندما تصبح سرعة الجريان كبيرة جداً، أو عندما يجتاز عائقاً في الوعاء، أو عندما يغيّر اتجاهه بحدّة، أو عندما يمر فوق سطح خشن، ويقصد بالجريان المضطرب أن الدم يجري بشكل عرضاني إضافة إلى جريانه على طول الوعاء، ويشكل عادة التنافات Whorls في الدم تدعى تيارات الدوامة Eddy currents.

فكّر ثم أجب:

كيف تؤثر لزوجة الدم على جريانه.

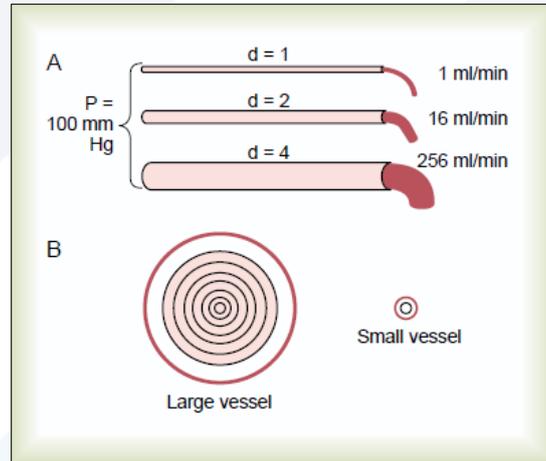
إيصالية الدم في الوعاء وعلاقتها بالمقاومة

يقصد بالإيصالية Conductance قياس جريان الدم عبر وعاء من أجل فرق ضغط معين، ويعبر عنها بـ (مل/ثا/مم زئبقي)، وهي تعاكس المقاومة وفقاً للمعادلة:

الإيصالية = 1/المقاومة

$$\text{Conductance} = \frac{1}{\text{Resistance}}$$

تسبب التغيرات الطفيفة في قطر الأوعية اختلافات كبيرة في القدرة على إيصال الدم عندما يكون الجريان انسيابي، كما هو موضَّح الشكل (7 - A) الذي يظهر ثلاثة أوعية منفصلة ذات أقطار متناسبة (1 و 2 و 4) وفرق الضغط عند نهايتي كل منها يساوي 100 ملم زئبقي، وعلى الرغم من أن أقطار الأوعية تزداد بمقدار أربعة أضعاف فقط فإن الجريانات الخاصة بها تزداد بحيث تكون (1 و 16 و 256 مل/د) على الترتيب، أي بزيادة 256 ضعفاً في الجريان. أي أن الإيصالية تتناسب طردياً مع القوة الرابعة للقطر.



الشكل (7): تأثير قطر الوعاء على جريان الدم A، حلقات الجريان الانسيابي للدم B.

ويمكن إيضاح سبب الزيادة الكبيرة في الإيصالية عند زيادة القطر كالتالي: بيّن الشكل (7 - B) مقطعاً عرضياً في وعاء كبير وآخر صغير؛ إذ تشير الحلقات المتركرة داخل هذه الأوعية إلى أن سرعة الجريان تختلف حسب كل حلقة نتيجة الجريان الصفائحي أو الانسيابي؛ حيث أن الحلقة التي تلامس الجدار تجري بصعوبة بالغة بسبب التصاقها بالبطانة الوعائية، والحلقة الثانية تنزلق متجاوزة الأولى لذلك تجري بسرعة أكبر وهكذا، لذلك فالدم القريب من الجدار يجري ببطء شديد بينما الموجود في المركز فإنه يجري بسرعة شديدة.

وبمكاملة سرعات جميع الحلقات، يمكن استنتاج المعادلة المعروفة بقانون بويسل **Poiseuille's law**:

$$F = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \eta l}$$

يلاحظ من هذه المعادلة أن سرعة جريان الدم تتناسب طردياً مع القوة الرابعة لنصف قطر الوعاء. تسمح الجدران القوية للشُرينات الصغيرة (التي يتراوح قطرها بين 8 إلى 30 ميكرومتر) بتغير أقطارها الداخلية (ثلاثي المقاومة في الدوران الجهازي) بشكل كبير قد يصل أحياناً إلى أربعة أضعاف مما يزيد الجريان نظرياً إلى 256 ضعفاً، لذلك تستطيع هذه الشُرينات وحسب قانون القوة الرابعة أن توقف الجريان الدموي.

## مطاوعة الأوعية الدموية Compliance of Blood Vessels

تعبّر مطاوعة أو سعة capacitance وعاء دموي عن حجم الدم الممكن احتواءه عند ضغط معين. وتتعلق المطاوعة بقابلية التمدد والتي تعطى بالمعادلة الآتية:

$$C = V / P$$

حيث:

C = المطاوعة أو السعة (mL/mm Hg)

V = الحجم (mL)

P = الضغط (mm Hg)

إنّ مطاوعة الأوردة عالية؛ بعبارة أخرى تحتوي الأوردة حجماً كبيراً من الدم عند ضغوط منخفضة. أمّا مطاوعة الشرايين فهي أقل بكثير من تلك الموجودة في الأوردة نتيجة الضغط المرتفع.

### فكر ثم أجب:

هل يؤثر التقدم بالعمر (الشيخوخة) على مطاوعة الشرايين؟

## الضغط الشرياني

يعرّف ضغط الدم بأنه القوة التي يمارسها الدم على كل وحدة مساحة من جدار الوعاء، ويقاس بالمليمتر زئبقي mm HG، فعندما يقال أن الضغط في الوعاء هو 120 ملم زئبقي فهذا يعني أن القوة المطبقة كافية لدفع عمود الزئبق حتى مستوى 120 مم زئبقي.

الضغط الشرياني هو الضغط الذي يمارسه الدم على جدار الشرايين المرنة أثناء مروره فيها، ويتأثر بعدة عوامل وهي:

- الفعالية القلبية التقلصية (نتاج القلب).

- المقاومة الوعائية (قطر الوعاء وطوله ولزوجة الدم).

- مرونة الأوعية.

ويعد مستوى الضغط الشرياني مؤشراً تشخيصياً مهماً لصحة القلب والأوعية الدموية.

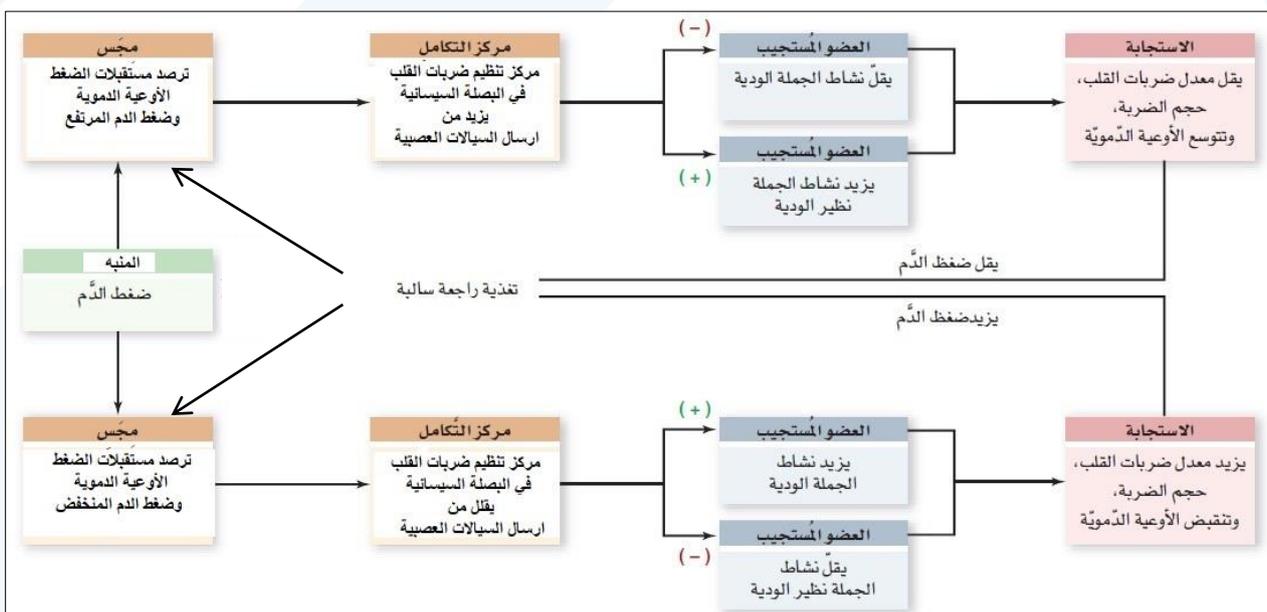
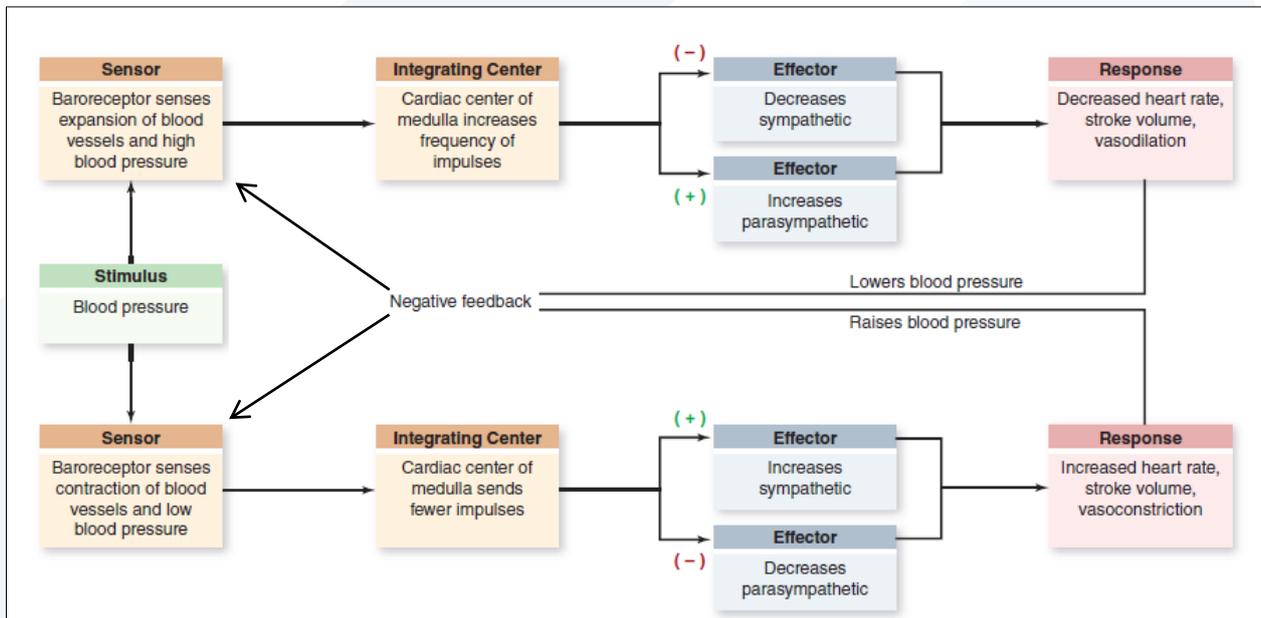
كما يتأثر الضغط الشرياني بالانفعالات، والنوم، ونوع الغذاء، وممارسة الرياضة، ويتعلق نسبياً بالعمر والوزن والجنس (ذكر أم أنثى).

يتغير الضغط في الدورة القلبية بين ضغط أعظمي (الانقباضي) ويبلغ 120 ملم زئبقي ويمكن أن يتراوح في الحالة الطبيعية بين 90 – 130 ملم زئبقي، أما الضغط الأصغري (الانبساطي) فيبلغ 80 ملم زئبقي (في بعض المراجع تبلغ قيمته 70 ملم زئبقي) ويتراوح بين 60 – 90 ملم زئبقي.

## تنظيم الضغط الشرياني

يعتمد بشكل رئيس على النتاج القلبي، والمقاومة الوعائية، فتغير أي من هذه العوامل زيادة أو نقصاناً سيغير ضغط الدم.

وبشكل عام، عند انخفاض (هبوط) الضغط الشرياني، يتم تفعيل القسم الودي الذي يقبض الأوعية، فيرفع المقاومة الوعائية المحيطية، ويزيد معدل وقلوصية القلب، فيزداد النتاج القلبي ويرتفع الضغط الشرياني. وبالعكس عند زيادة الضغط الشرياني فإن المركز العصبي المحرك يثبّط عمل الجهاز الودي فتتوسع الأوعية، ويتحرّض بنفس الوقت القسم نظير الودي الذي ينقص معدل القلب وقلوصيته، بالنتيجة ينقص الضغط الشرياني. الشكل (8).



الشكل (8): التنظيم العصبي للضغط الشرياني. انتهى الجزء الأول من المحاضرة... بالتوفيق للجميع