المحاضرة الخامسة

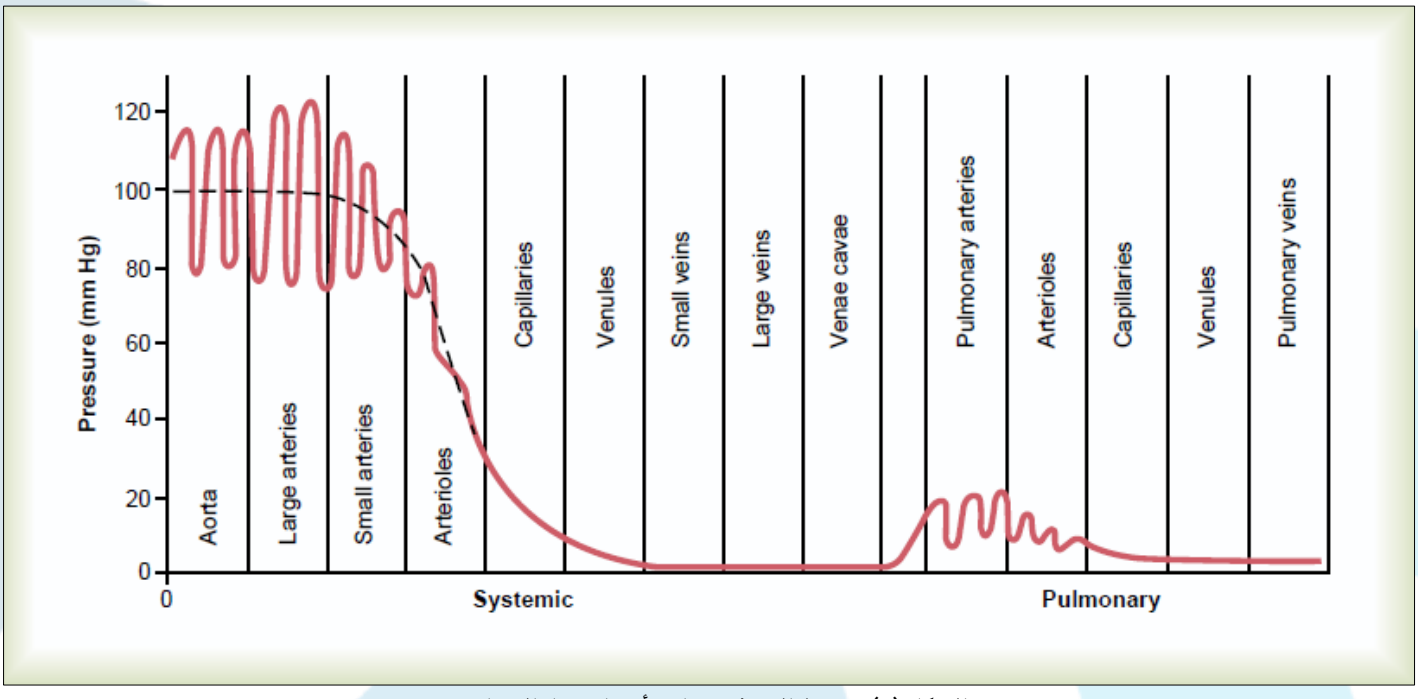
فيزيولوجيا الجهاز القلبي الوعائي Cardiovascular Physiology (2)

الضغط في أقسام الدوران المختلفة

يكون متوسط الضغط **مرتفعاً** في **الأبهر** ويساوي تقريباً **100** ملم زئبقي وذلك بسبب الضخ المتواصل للقلب إلى الأبهر، وبما أن الضخ القلبي **نابض** لذلك يتراوح الضغط الشرياني بين **120** ملم زئبقي (الضغط الأعظمي أو الانقباضي) و**80** ملم زئبقي (الضغط الأصغري أو الانبساطي) كما هو موضّح في الشكل (1) والجدول (1)، ويتناقص الضغط تدريجياً أثناء جريان الدم في الدوران المحيطي (الجهازي) حتى تصل إلى قيمة **قريبة من الصفر** ملم زئبقي في نهاية الوريدين الأجوفين.

يتراوح ضغط الشعيرات الجهازية بين **35** ملم زئبقي قرب النهاية الشريانية إلى **10** ملم زئبقي قرب النهاية الوريدية، لكن الضغط الوظيفي (المتوسط) في معظم الشعيرات الدموية (السرير الشعيري) يبلغ تقريباً **17 – 20** مم زئبقي، وهو منخفض بحيث لا يسمح إلا بتسرب كمية ضئيلة من المصورة خارج الشعيرات النفوذة، ورغم ذلك تستطيع المغذيات الانتشار بسهولة إلى الخلايا.

أما الضغط في الشرايين **الرئوية** فهو **نابض** كما في الأبهر، ولكنه أقل بكثير منه؛ إذ يعادل الضغط الانقباضي **25** مم زئبقي (**15 – 16** ملم زئبقي وسطياً في الشريان الرئوي) بينما يبلغ الضغط الانبساطي **8** ملم زئبقي، ويبلغ معدل الضغط في الشعيرات الرئوية **7 – 10** مم زئبقي، تتناسب الضغوط المنخفضة في الجهاز الرئوي مع وظيفة الرئتين المتمثّلة بتعريض الدم في الشعيرات الرئوية للأكسجين والغازات الأخرى في الأسناخ الرئوية (التبادل الغازي)، ويضاف إلى ذلك قصر المسافة التي ينبغي على الدم اجتيازها قبل عودته إلى القلب.



الشكل (1): ضغط الدم في مختلف أقسام جهاز الدوران.

الجدول (1): الضغوط الوسطية في الجهاز القلبيّ الوعائيّ.

الموقع	الضغط الوسطيّ (mm Hg)
الجهازي	
الأبهر	100
الشرايين الكبيرة	100 (انقباضي، 120؛ انبساطي، 80)
الشُريّنات	50
الشعريّات	20
الوريد الأجوف	4
الأذينة اليمنى	2-0
الرئوي	
الشريان الرئويّ	15 (انقباضي، 25؛ انبساطي، 8)
الشعريّات	10
الوريد الرئويّ	8
الأذينة اليسرى[a]	5-2

يدعى الفرق بين الضغط الأعظمي والأصغري **بنبضان الضغط أو ضغط النبضة أو الضغط النبضي Pulse Pressure**. في حال كانت كل العوامل الأخرى متساويةً، يعكس مقدار الضغط النبضيّ حجم الدم المقذوف من البطين الأيسر في ضربة واحدة، أو ما يدعى **بحجم الضربة stroke volume**.

الضغط الشريانيّ الوسطيّ Mean arterial pressure هو متوسط الضغط في دورة قلبيّة كاملة ، يجب أن يكون أكبر أو يساوي 60 ملم زئبقي، ويحسب على الشكل الآتي:

الضغط الشريانيّ الوسطيّ = الضغط الانبساطيّ + 1\3 ضغط النبضيّ

أو:

$$\frac{\text{الضغط الانقباضي} + 2\ (\text{الضغط الانبساطي})}{3}$$

أولاً: التنظيم العصبي قصير الأمد للضغط الشرياني

هو فعل **انعكاسي** مركز **البصلة السيسائية (المركز القلبي الوعائي)**، وأحياناً تؤثر السيالات العصبية من المستقبلات **الكيميائية** والمراكز الدماغية **الأعلى**، في آليات التنظيم العصبية.

- **دور المركز الوعائي القلبي Cardiovascular Center**

يتألف من: مراكز قلبية (**مسرعة، وناهية أو مبطئة**)، ومركز **محرك وعائي** يتحكم بأقطار الأوعية الدموية. ينقل المركز المحرك الوعائي الأوامر الحركية **باعتدال وبمعدل ثابت** عبر الألياف **الودية** والمسماة الألياف الوعائية الحركية، التي تعصب العضلات الملساء للأوعية الدموية ولاسيّما **الشُرينات**، ونتيجة لذلك تكون الشُرينات بحالة **شبه دائمة من التقبض المعتدل**، وهذا ما يسمى **بالمقوية الوعائية المحركة**.

تختلف درجة المقوية الوعائية من عضو لآخر، وبشكل عام تتلقى الشُرينات في **الجلد والجهاز الهضمي** الأوامر الوعائية الحركية بمعدل **أكبر**، **وتتقبض** بشكل أقوى من تلك التي في العضلات **الهيكلية**.

تسبب **زيادة الفعالية الودية** (تنبيه القسم الودي وتثبيط اللاودي) تقبضاً وعائياً عاماً، وترفع ضغط الدم، أما **انخفاض الفعالية** (تثبيط القسم الودي وتنبيه اللاودي) فيسمح للعضلات الوعائية بالارتخاء نوعاً ما أي التوسع الوعائي، **ويخفض** ضغط الدم.

- **تعديل فعالية المركز القلبي الوعائي**

يمكن تعديل الفعالية بوساطة سيالات عصبية قادمة:

1. **مستقبلات الضغط:** حساسة لتغيرات الضغط الشرياني والتمدد.
2. **مستقبلات كيميائية:** حساسة لتغيرات المستوى الدموي من ثنائي أكسيد الكربون، والأوكسجين، وشوارد الهيدروجين.
3. **مراكز دماغية أعلى** (التشكيلات الشبكية في الجسر والدماغ المتوسط والدماغ البيني).

الآلية: يؤدي **زيادة** الضغط الشرياني **لتفعيل** مستقبلات الضغط الموجودة في قوس الأبهر، والجيب السباتي، والشرايين الكبيرة في منطقة الصدر والعنق، بفعل **التمدد** وترسل سيالات عصبية حسية عبر العصبين الدماغيين: **التاسع** (اللساني البلعومي) من خلال عصب صغير يدعى عصب **هيرينغ**، **والعاشر** (المبهم أو المجهول) إلى المركز الوعائي القلبي، ويتفعّل **القسم اللاودي**، **فيثبط** كل من المركز **المسرّع** للقلب والمركز **الوعائي المحرك**، **ويتنبه** أو يتفعل المركز **المبطئ** أو الناهي للقلب، وتكون النتيجة **انخفاض** ضغط الدم نتيجة **توسع** الأوعية في مجمل الجهاز الدوراني المحيطي، **و انخفاض** دقات القلب أي نقص في سرعته وقلوصيته. والعكس صحيح عند انخفاض الضغط الشرياني.

من **الصفات المهمة** للتنظيم العصبي للضغط الشرياني هي **معاكسته الفورية والسريعة** للزيادة أو النقصان في الضغط (تنظيم سريع قصير الأمد)، فهو يدعى **الجهاز الدارئ (الموقي)** للضغط أي يمنع التبدلات في الضغط.

ثانياً: التنظيم الخلطي المديد للضغط الشرياني

- **العوامل الخلطية الرافعة للضغط الشرياني**

1. **جملة الرينين – انجيوتنسين II:** يفرز الرينين من **الكلية** عند **نقص** ترويتها، ويعمل على تحويل مولد الأنجيوتنسين (المنتج من الكبد) إلى انجيوتنسين I، الذي يتحول إلى أنجيوتنسين II تحت تأثير أنزيم **محوّل (قالب) ينتج في الرئة**، ويعد الشكل أنجيوتنسين II هو الشكل **الفعّال** الذي يؤدي إلى **تقبض** الأوعية الدموية، وزيادة حساسيتها للمقبضات الأخرى، **وحبس** السوائل، وتحريض إفراز **الألدوسترون**.
2. **الألدوستيرون** (مفرز من قشر الكظر) **والهرمون المضاد للإبالة ADH أو الفازوبرسين** (يحرر من الفص الخلفي للغدة النخامية): اللذان يعملان على **زيادة حبس** السوائل والأملاح (**إعادة امتصاص شوارد الصوديوم**).
3. **الأدرينالين:** يفرز من لب الكظر، ويؤثر في مستقبلات القلب (مستقبلات بيتا 1)، **فتزداد** سرعة القلب وقلوصيته مما يزيد من نتاج القلب، ومن ثم **يرفع** الضغط الشرياني، وهو كذلك **مقبض** للأوعية الدموية **عدا الإكليلية**، لذلك أيضاً **يرفع** المقاومة الوعائية المحيطية.
4. **النوأدرينالين:** يفرز من لب الكظر، وكذلك النهايات العصبية **الودية**، وهو **مقبض** للأوعية، وله تأثير **إيجابي** في عمل القلب.
5. **الهرمونات الجنسية: تحبس** الماء والأملاح، **فترفع** الضغط الشرياني.
6. **الكورتيزول** (القشرانيات السكرية): يفرز من **قشر** الكظر، ويرفع الضغط الشرياني لأنه **يحبس** الماء والأملاح، ويزيد من **حساسيات** الأوعية للمقبضات.
7. **هرمونات الدرق: تسرّع** القلب، **وترفع** الضغط الشرياني.

- **العوامل الخلطية الخافضة للضغط الشرياني**

مركبات مثل **البراديكينين** و**الهستامين** و**البروستلاغلاندينات**، تخفض الضغط الشرياني لتأثيرها الموسّع للأوعية، وكذلك لفضلات الاستقلاب مثل **حمض اللبن** و**حمض الكربون**، وبعض الشوارد **كالبوتاسيوم** و**المغنزيوم** تأثير خافض للضغط الشرياني بسبب تأثيرها الموسع للأوعية الدموية، كذلك **الببتيد الأذيني ANP** (Atrial Natriuretic Peptide) المعاكس لعمل الألدوستيرون.

الدوران الشعيري

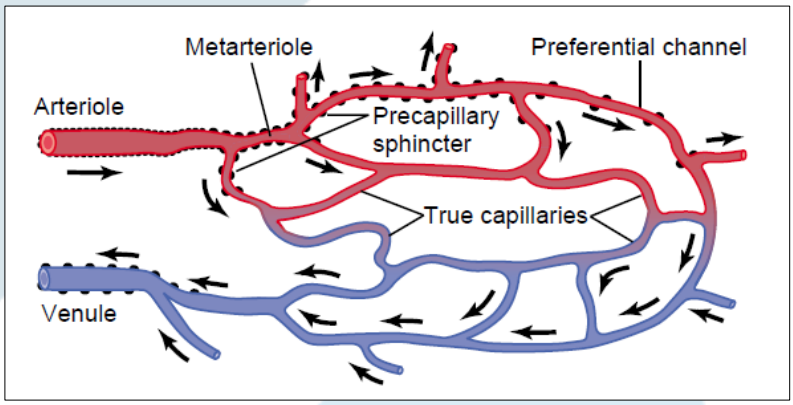
يتحقق الهدف من **الدوران (التبادل)** في مستوى الشعيرات الدموية، وهو **إمداد** الأنسجة بالأكسجين والمغذيات الضرورية، **وتخليصها** من فضلات الاستقلاب وذلك بسبب **النفوذية العالية** للشعيرات.

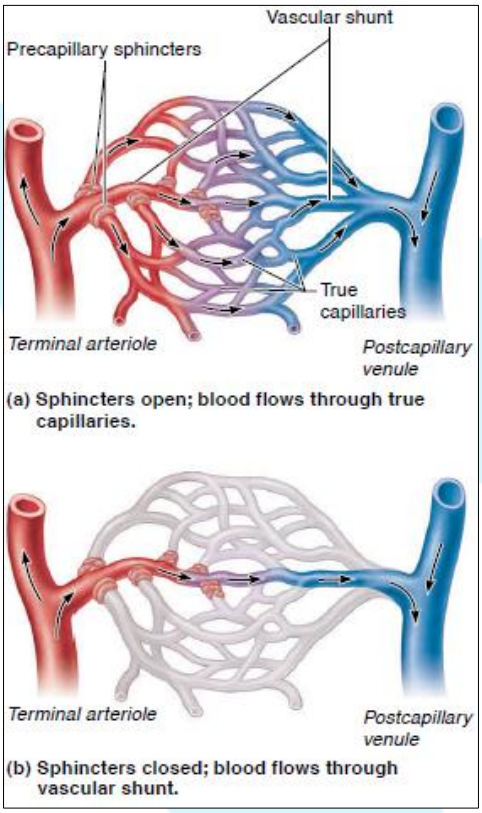
تنشأ الشعيرات الدموية من فروع الشُرينات، ويتكون جدارها من طبقة من **الخلايا البطانية** (ظهارة رصفية) ذات نفوذية عالية، محاطة من الخارج بغشاء قاعدي من ألياف الكولاجين، كما يحاط الوعاء الشعري في بدايته بعضلة تدعى **المصرة (المعصرة) قبل الشعرية** Precapillary sphincter، ينتهي الوعاء الشعري في وُرَيد **دون** مصرة عضلية لذلك يمكن للتبدلات الهيموديناميكية الوريدية أن تنعكس على الشعيرات، الشكل (2).

تعمل **ربع** الأوعية الشعرية في حالة **الراحة** وتزداد أثناء الجهد، وتختلف **كثافة** الشبكة الشعرية من **عضو لآخر** بشكل يتناسب **طرداً** مع **فعالية** العضو، ويبلغ حجم الدم في الشعيرات الدموية **7%** من الحجم الكلي للدم في الجهاز الدوراني.

يوجد نوعان للدوران الشعري:

1. **دوران شعيري تغذوي**: يؤمن فقط تغذية العضو، وهذا ينخفض كثيراً في حالة الراحة ليزداد في حالة الجهد، والعلاقة بين النتاج والاستقلاب علاقة وثيقة.
2. **دوران شعيري وظيفي**: ويؤمن، بالإضافة إلى التغذية، وظيفة هامة للعضوية ككل مثل الرئة والكلية والكبد.





الشكل (2): بنية الشعيرات الدموية (السرير الشعيري).

المقاومة الشعيرية

تتعلق **بالغشاء القاعدي** المدعم بشبكة من ألياف الكولاجين، ولكن في بعض الحالات مثل فرط الضغط الشعري أو نقص مقاومة الجدار ينقطع الوعاء الدموي، وتحدث نزوف غير غزيرة، قد تنتج عن بعض الأمراض الوراثية أو الانتانات أو السموم، وكذلك نقص فيتامين C.

تبادل الأغذية والمواد بين الدم والسائل الخلالي

يشكل **الانتشار** الطريقة الأكثر أهمية لانتقال المواد بين البلازما والسائل الخلالي؛ إذ أن جدار الوعاء الشعيري **نصف نفوذ**.

تنتشر جزيئات الماء والجزئيات المنحلة في الماء عبر **الثقوب** في جدار الوعاء الشعيري، أما المواد الذوابة في الدسم **كالأوكسجين وثاني أكسيد الكربون**، فتستطيع الانتشار **مباشرة** من خلال أغشية الخلايا البطانية للوعاء الشعيري، وبالتالي هي تنفذ من كل مساحات الجدار الوعائي، لذلك فإن معدلاتها بالنقل **أسرع** من المواد غير الذوابة.

يختلف معدل **الانتشار** باختلاف **تراكيز** المواد على جانبي الغشاء، أما **النفوذية** الشعيرية فإنها تتأثر بكثير من العوامل:

- **تزداد** بتأثير الهيستامين، والحموضة (انخفاض الـ pH)، وعوز فيتامين C.
- وبالمقابل فإن مضادات الهيستامين، والستيروئيدات القشرية، وشوارد الكالسيوم، والقلوية **تنقص** من هذه النفوذية.

حركة السائل عبر جدار الوعاء الشعيري

يدفع السائل عبر الجدار الشعريّ بواسطة ضغوط ستارلينغ عبر الجدار وتُوصَف معادلة ستارلينغ Starling equation كالآتي:

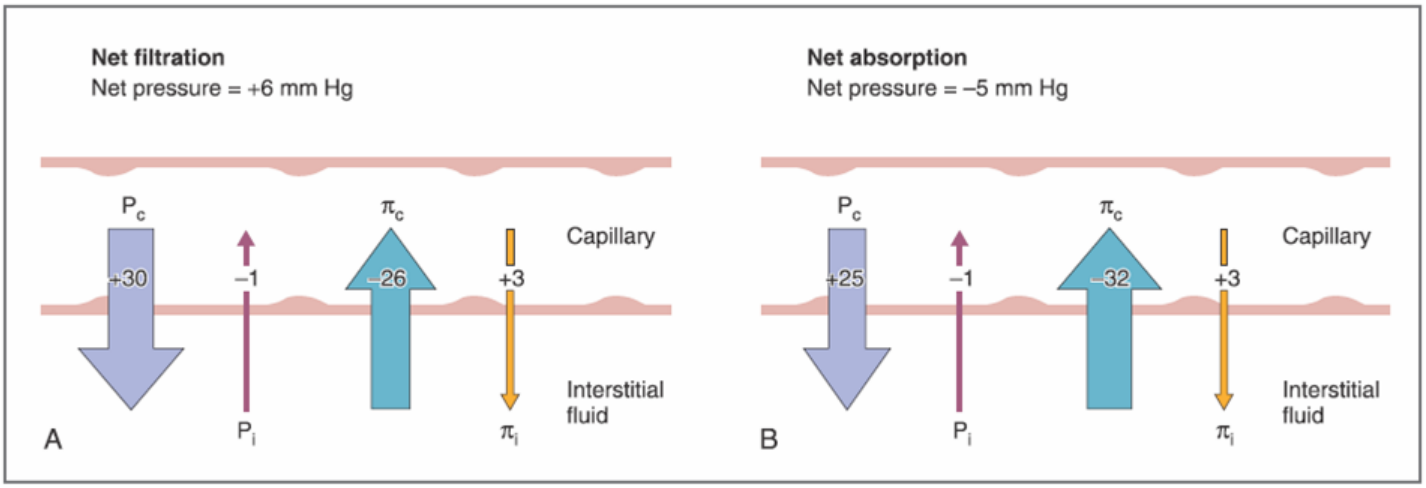
$$J_v = K_f [(P_c - P_i) - (\pi_c - \pi_i)]$$

حيث:

J_v = حركة السائل (mL/min).
K_f = الناقليّة الهيدروليكيّة (mL/min per mm Hg).
P_c = الضغط المائيّ السكونيّ الشعريّ (mm Hg).
P_i = الضغط المائيّ السكونيّ الخلاليّ (mm Hg).
π_c = الضغط الجرميّ الشعريّ (mm Hg).
π_i = الضغط الجرميّ الخلاليّ (mm Hg).

تنصّ معادلة ستارلينغ على أنّه يتمّ تحديد حركة السوائل J_v عبر الجدار الشعريّ بواسطة الضغط الإجماليّ عبر الجدار، والذي هو مجموع الضغط المائيّ السكونيّ والضغط الجرميّ (أو الضغط التناضحي الغرواني). فيمكن أن يكون **اتجاه حركة السوائل** إمّا إلى داخل أو خارج الشعريّات الدمويّة. تدعى حركة السوائل الإجماليّة إلى خارج الشعريّات الدمويّة نحو السائل الخلاليّ **بالترشيح filtration**؛ بينما تدعى حركة السوائل الإجماليّة من السائل الخلالي إلى داخل الشعريات الدمويّة **بالامتصاص absorption**. يُحدَّد **مقدار حركة السوائل** بواسطة الناقليّة الهيدروليكيّة K_f (نفوذيّة الماء)، للجدار الشعريّ. تحدّد الناقليّة الهيدروليكيّة مقدار حركة السوائل التي سيتمّ إنتاجها بفرق الضغط المعيّن، الشكل (9).

ترتبط النتيجة النهائية **بمحصلة** هذه القوى، فيحدث **خروج** سوائل في الجزء الداني (القريب) من الوعاء الشعيري الشرياني، وتبادل **متعادل** في وسطه، مع **إعادة امتصاص** في الجزء القاصي (البعيد) الوريدي، الشكل (3).



الشكل (3): A. الضغط الإجماليّ لصالح الترشيح، B. الضغط الإجاليّ لصالح الامتصاص.

إنّ الشكل (3) هو رسم تخطيطي لضغوط ستارلينغ. تمثل كلّ من ضغوط ستارلينغ الأربعة بسهم. يشير **اتجاه** السهم فيما إذا كان الضغط لصالح **الترشيح** إلى خارج الشعريّات الدمويّة (كما في الشعيرات الشريانية) أو إلى **الامتصاص** إلى داخل الشعريّات الدمويّة (كما في الشعيرات الوريدية). ويظهر حجم السهم المقدار النسبيّ للضغط. إنّ القيمة العدديّة للضغط هي بالـ mm Hg، وتأخذ علامة زائد **(+)** إذا كان الضغط لصالح **الترشيح** وعلامة ناقص **(-)** إذا كان الضغط لصالح **الامتصاص**.

الضغط الإجماليّ net pressure، هو القوّة الدافعة الإجماليّة، ويمثّل المجموع الجبريّ للضغوط الأربعة. في المثال الوارد في الشكل (9، A): فإنّ مجموع ضغوط ستارلينغ الأربعة هو ضغط إجماليّ قدره **+6 mm Hg**، ممّا يشير إلى أنّه سيحدث **ترشيح** إجماليّ إلى **خارج** الشعريّات الدمويّة. وفي المثال الوارد في الشكل (9، B): فإنّ مجموع ضغوط ستارلينغ الأربعة هو ضغط إجماليّ قدره **-5 mm Hg**، ممّا يشير إلى أنّه سيحدث امتصاص إجماليّ إلى داخل الشعريّات الدمويّة.

من خلال فهم كيفيّة تأثير كلّ متغيّر في معادلة ستارلينج على حركة السوائل عبر الجدار الشعريّ، يمكن التنبّؤ بآثار اختلاف هذه المتغيّرات. يُوصَف كلّ متغيّر في معادلة ستارلينغ كالآتي:

- **الناقليّة الهيدروليكيّة K_f:** وهي نفوذية الماء الخاصة بلجدار الشعريّ، وتختلف باختلاف أنواع الأنسجة، معتمدةً على الخصائص التشريحية للجدار الشعريّ، مثال: حجم الشقوق بين الخلايا البطانيّة؛ إذا كانت الشعريات الدمويّة مُثقَّبةً.
- **الضغط المائيّ السكونيّ الشعريّ P_c: هو** قوة لصالح الترشيح إلى خارج الشعريّات الدمويّة.
- **الضغط المائيّ السكونيّ الخلاليّ P_i:** هو قوة معاكسة للارتشاح.
- **الضغط الجرميّ (أو التناضحي الغرواني) الشعريّ π_c:** هو قوة معاكسة للارتشاح. هو الضغط التناضحيّ الفعّال للدم الشعريّ بسبب وجود بروتينات البلازما.
- **الضغط الجرميّ الخلاليّ π_i:** هو قوة لصالح الترشيح. يتم تحديده من خلال تركيز بروتين السائل الخلاليّ.

يبقى نسبة ضئيلة جداً من السوائل **المرتشحة لا تعود إلى الشعيرات**، وإنما تعود إلى الدم عبر الدوران **اللمفاوي**.

الدوران الوريدي

تحمل الأوردة الدم الذي **خضع للتبادل** من الشعيرات الدموية (الأسرة الشعيرية) في الأنسجة إلى القلب **الأيمن**، ويزداد قطرها وثخانة جدرها تدريجياً، وتتميز بأنها قادرة على **الانقباض والتوسع**، فتختزن كميات صغيرة أو كبيرة من الدم (**مستودعات للدم**)، وتجعل الدم متوفراً بحسب الطلب عليه. تدفع الأوردة المحيطية الدم وتساعد على **تنظيم** نتاج القلب.

خصائصه

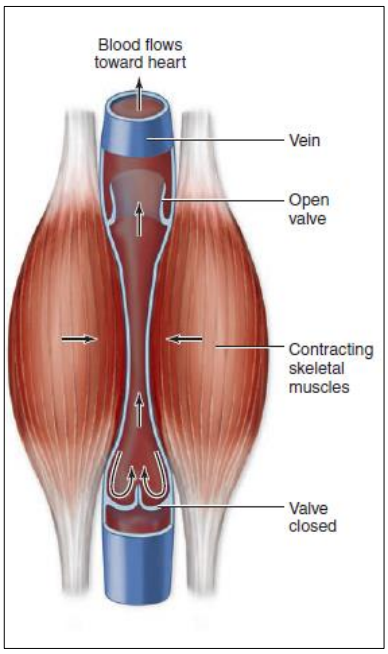
1. حجم الدم في الأوردة حوالي **64 %** من حجم الدم الإجمالي بسبب **المطاوعة** الكبيرة لجدر الأوردة، ويتبدل حسب الظروف، ويختلف من عضو إلى آخر.
2. **الضغوط** في الدوران الوريدي **أقل** بكثير من الضغوط في الشرايين، فهي **16 ملم زئبقي** في الوريدات، و تصل حتى الصفر في الأوردة الكبيرة قرب القلب، عد إلى الشكل (4).
3. هناك مخازن نوعية للدم كالطحال والكبد والأوردة البطنية الكبيرة.

العود الوريدي

هو كمية الدم المتدفقة من الأوردة إلى الأذينة **اليمنى** كل **دقيقة**، وهو يعادل **نتاج القلب الأيمن** تماماً.

العوامل التي تؤمن عودة الدم إلى القلب

1. **فرق الضغط الدموي الديناميي** (الهيموديناميكي) بين نهايتي الدوران الوريدي وهذا يعود للفعالية القلبية، وهو كافٍ في حالة الراحة والاستلقاء.
2. **الحركات التنفسية:** يزداد العود الوريدي أثناء الشهيق؛ إذ يتقلص الحجاب الحاجز فيرفع الضغط داخل البطن، ويساعد على تحريك الدم من الأحشاء باتجاه القلب.
3. **التقلص العضلي:** يرفع تقلص العضلات الهيكلية الضغط داخل أوردة العضلات والأوردة المجاورة، وتعمل الصمامات الوريدية بشكل أفضل، لذلك يعتبر المشي والرياضة من العوامل المهمة لتنشيط الدوران الوريدي الشكل (4).
4. **الصمامات (الدسامات الوريدية):** تعمل هذه الصمامات على جعل جريان الدم في أوردة الطرف السفلي باتجاه واحد نحو القلب، وتمنع عودته إلى الخلف (باتجاه الجاذبية الأرضية)، كما لها دور فيزيولوجي مهم جداً، يتمثّل بتجزئة الضغط الناجم عن تراكم الدم في أوعية الطرف السفلي أثناء الوقوف بتأثير الجاذبية، مما يسمح بتبادل طبيعي في مستوى الشعيرات وعود طبيعي للدم. إن اضطراب وظيفة هذه الصمامات يترافق مع ظهور الدوالي وما ينجم عنها من اضطراب دوراني ووذمات Edema وتقرحات.
5. **النبض الشرياني:** يعمل مرور الموجة النبضية في الشريان كقوة دافعة عندما يكون الوريد على تماس مباشر مع الشريان.



الشكل (4): تدفق الدم داخل الوريد باتجاه واحد نحو القلب.

الدوران اللمفاوي

يمثل الجهاز اللمفاوي وسيلة **إضافية** لنضح السائل من الحيز الخلالي إلى الدم، وذلك **لأن معدل ترشيح** السائل في الوعاء الشعيري **يتجاوز** بنسبة **ضئيلة** معدل **عودة امتصاصه**، وهذا يعني أن قسماً من السوائل لا يعود بالدوران الوريدي، وإنما بالدوران اللمفاوي أو البلغمي والذي في النهاية ينضم إلى الدوران **الوريدي**.

تركيب اللمف

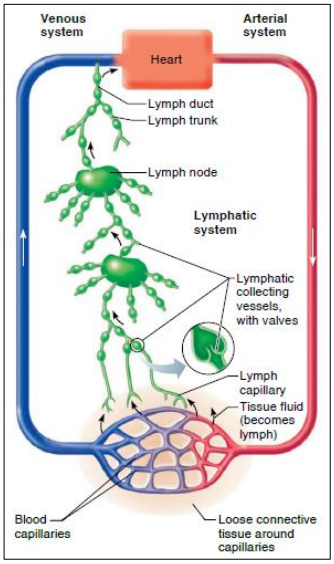
يشتق اللمف من **السائل الخلالي**، فهو يشبهه في التركيب، وهو **قابل للتخثر** لاحتوائه على **مولد الليفين**. يقدر تركيز **البروتين** في السوائل الخلالية **لمعظم** النسج بنحو **2 غ/دل**، لذلك يكون تركيز البروتين في اللمف الجاري من هذه النسج **قريب** من هذه القيمة، بينما يكون تركيز البروتينات في اللمف المتشكل في **الكبد مرتفعاً** حتى 6 غ/دل، وتركيزها في اللمف المتشكل في **الامعاء** بين 3-4 غ/دل. ويختلف تركيب اللمف حسب العضو الذي يأتي منه، فاللمف القادم من الأمعاء مثلاً غني **بالدسم** الممتص من قبل الزغابات **المعوية**.

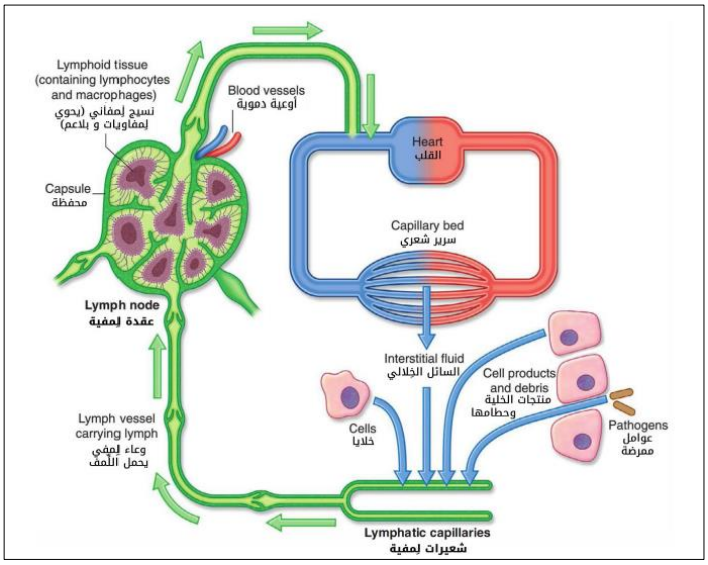
وظائف اللمف

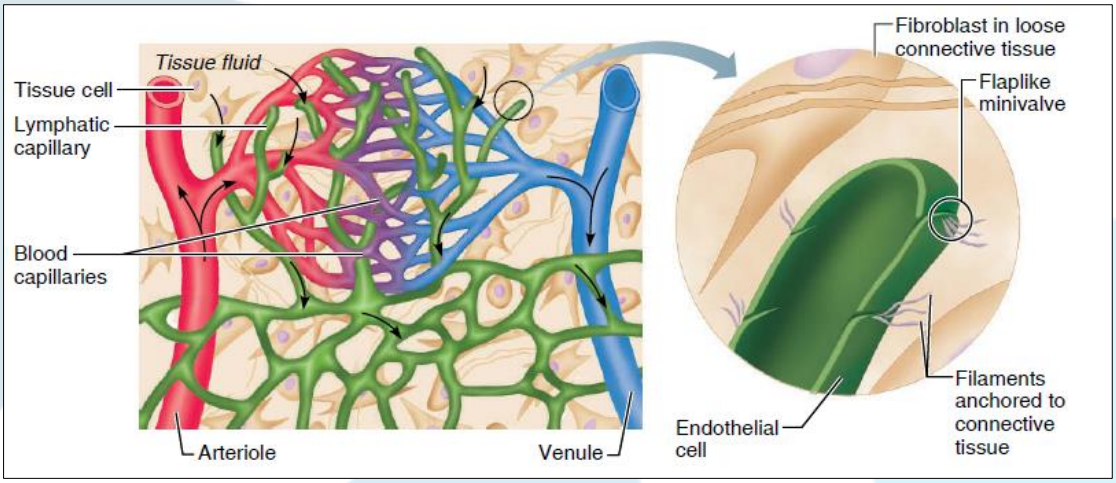
1. نقل **السوائل** والمواد المنحلة **المرتشحة** إلى النسج من الدم إلى الدوران اللمفاوي ثم الوريدي.
2. هو الممر الوحيد لعودة **البروتينات** (التي خرجت من الأوعية الدموية إلى النسج) إلى الدم.
3. ينقل العناصر **الغذائية** الممتصة في جهاز الهضم، ولاسيّما **الدسم** (الدقائق الكيلوسية: القطيرات الدسمة أو الشحمية المغلفة بالبروتين) إلى الدم.
4. للمف دور **دفاعي** مهم جداً؛ إذ أن المواد السامة والجراثيم تزال في العقد اللمفاوية الموجودة على مسير الأوعية اللمفاوية لاحتوائها على البلاعم والخلايا اللمفاوية المناعية، لذا فهي تؤدي دور **المصفاة**.

التشريح الوظيفي

تتجمع خلايا بطانية لتشكل شبكة من **الشعيرات اللمفاوية** أو البلغمية lymph capillaries مشابهة للشعيرات الدموية، تتجمع الشعيرات اللمفاوية لتشكل أوعية **جامعة** Lymphatic collecting vessels تحوي **صمامات** أو دسامات Valves تسمح بحركة اللمف (البلغم) باتجاه واحد نحو الأوعية الأكبر، يشاهد على مسير هذه الأوعية **العقد اللمفاوية** Lymph nodes، بعدها تتلاقى الأوعية الجامعة لتشكل **جذوعاً** بلغمية Lymph trunks، الشكل (5).

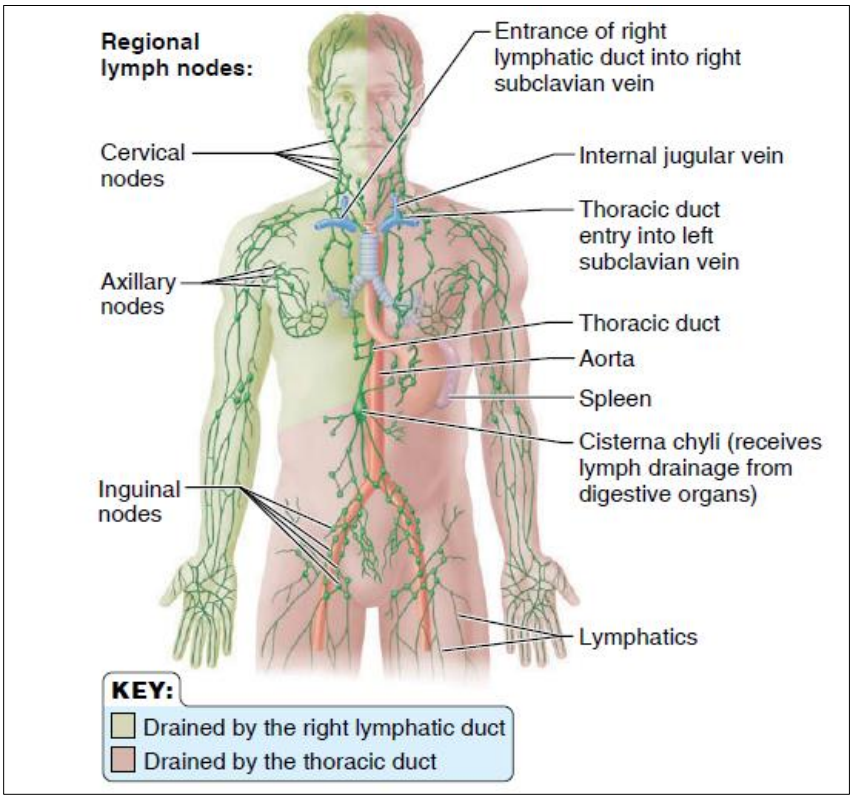






الشكل (5): التشريح الوظيفي للجهاز اللمفاوي.

تصب الجذوع البلغمية في **القناة البلغمية اليمنى** Right lymphatic duct (الجانب الأيمن للرأس والعنق والصدر والذراع اليمنى) و**القناة الصدرية** Thoracic duct (بقية أنحاء الجسم)، ومنها إلى الوريد الأجوف العلوي، الشكل (6).



الشكل (6): الجهاز اللمفاوي (القناة الصدرية والقناة البلغمية اليمنى).

العود اللمفاوي

يكون **جريان** اللمف بطيئاً وضغطه **منخفضاً**، كما يكون الفرق بين ضغط السائل الخلالي والضغط داخل الوعاء البلغمي معدوماً في حالة الراحة، لذلك تتدخل عدة عوامل في تأمين العود البلغمي أهمها:

1. **ضغط السائل الخلالي:** تبين أن تدفق اللمف يكون قليلاً جداً عندما تكون ضغوط السائل الخلالي **سلبية**، وبارتفاع الضغط إلى قيم أعلى من 0 ملم زئبقي يزداد تدفق اللمف، لذلك فإن أي عامل يرفع ضغط السائل الخلالي يرفع أيضاً تدفق اللمف، ومن هذه العوامل:
   - ارتفاع ضغط الوعاء الشعيري.
   - انخفاض الضغط التناضحي الغرواني لمصورة الدم.
   - ارتفاع الضغط التناضحي الغرواني للسائل الخلالي (زيادة تركيز البروتينات).
   - ازدياد نفوذية الأوعية الشعيرية.
2. **فعالية المضخة اللمفاوية:** عندما تمتلئ الأوعية اللمفاوية يتقلص جدار الوعاء بشكل آلي تلقائي، وكل قطعة بين صمامين متعاقبين تقوم بوظيفة مضخة آلية منفصلة، وتستمر هذه العملية على طول الوعاء اللمفاوي حتى يتم تفريغ السائل.
3. **الانضغاط الخارجي المتقطع للأوعية اللمفاوية:** يؤدي أي عامل خارجي يضغط على الوعاء اللمفاوي بشكل متقطع إلى تقوية عملية الضخ، ومن هذه العوامل نذكر:

- **تقلص** العضلات الهيكلية المحيطية، ووجود **الصمامات** في الأوعية اللمفاوية تمنع عودة اللمف.
- **تحريك** أجزاء الجسم.
- **نبضان** الشرايين المحاذية للأوعية اللمفية.

4. كما يلعب **التنفس** دوراً بتأمين العود البلغمي، كما في تأمين العود الوريدي.

انتهت المحاضرة ... بالتوفيق للجميع