المحاضرة الرابعة

1- الدم

يخدم الدم العديد من الأغراض المتنوعة في تنظيم الوظيفة الطبيعية للجسم. الوظائف الأساسية الثلاث للتمرين الرياضي هي

- النقل,
- التحكم في درجة الحرارة,
- التوازن الحمضي القاعدي (pH),

الدم sang نسيج سائل يوجد في الحيوانات العليا وفي كثير من اللافقاريات، وهو كغيره من أنسجة الجسم مؤلف من خلايا حية موجودة في محلول مائي معقد التركيب. وللدم وظائف كثيرة مهمة كالمبادلات التنفسية والغذائية وتنظيم ثبات الوسط الداخلي وتوزيع الحرارة وتنظيمها والدفاع عن العضوية, ويتألف الدم من ثلاثة جسيمات دقيقة في المصورة هي: الكريات الحمر والكريات البيض والصفيحات.

1- 1- الكريات الحمراء

تتشكل الكريات الحمر في نقي العظام من الأرومات الحمر erytroblastes، وتنقسم قبل نضجها عدة انقسامات وتطرح نواتها فتسمى حينئذ الخلايا الشبكية reticulocytes، تتحول بعد ذلك إلى الكريات الحمر الناضجة. وتتم هذه التبدلات في 4-5 أيام. شكل الكريات الحمر كقرص قطره 5.7 ميكرون ومقطعه عدسي مقعر الطرفين، ويفيد هذا الشكل في المبادلات الغازية ويعطي الكريات الحمر المرونة الضرورية في أثناء رحلاتها عبر ممرات قد لايتجاوز قطر بعضها 2-3 ميكرون.

عدد الكريات الحمر 4-5 ملايين في الممّ من الدم، وتحوي كميات متراصة من ذرات خضاب الدم الذي يشغل نحو 25% من حجمها، ومن المـاء بنسبة 70%، ومركبات معدنية وعضوية بنسبة 5% معظمها منحل بالماء بحالة شوارد منها البوتاسيوم والكلور والبروتينات.

تعيش الكريات الحمر عشرين يوماً، ثم تتخرب في الجهاز الشبكي الاندوتليالي الذي يخرب الخضاب كذلك.

لا تحتوي خلايا الدم الحمراء الناضجة (كريات الدم الحمراء) على نواة ، لذا لا يمكنها التكاثر كما يمكن للخلايا الأخرى أن تتكاثر، فيجب استبدالها بخلايا جديدة على أساس متكرر ، وهي عملية تسمى تكون الدم. يبلغ العمر الطبيعي لكرات الدم الحمراء حوالي أربعة أشهر. وبالتالي ، يتم إنتاج هذه الخلايا وتدميرها باستمرار بمعدلات متساوية. هذا التوازن مهم للغاية ، لأن توصيل الأكسجين الكافي إلى الأنسجة يعتمد على وجود كمية كافية عدد خلايا الدم الحمراء لنقل الأكسجين. يمكن أن يؤدي الانخفاض في عددها أو وظيفتها إلى إعاقة توصيل الأكسجين وبالتالي يؤثر على أداء المجهود الرياضي.

تنقل خلايا الدم الحمراء الأكسجين المرتبط بشكل أساسي بالهيموغلوبين الذي يتكون من بروتين (غلوبين) وصبغة (هيم، ويحتوي الهيم على الحديد الذي يربط الأكسجين، كما تحتوي كل خلية دم حمراء على ما يقرب من 250 مليون جزيء هيموجلوبين ، كل منها قادر على ربط أربعة جزيئات أكسجين - بحيث يمكن لكل خلية دم حمراء أن ترتبط مع حوالي مليار جزيء من الأكسجين! ويوجد متوسط 15 جم من الهيموجلوبين لكل 100 مل من الدم الكامل، ويمكن أن يتحد كل غرام من الهيموجلوبين مع 1.33 مل من الأكسجين ، بحيث يمكن

ربط 20 مل من الأكسجين لكل 100 مل من الدم. لذلك ، عندما يكون الدم الشرياني مشبعًا بالأكسجين ، فإن قدرة حمل الأكسجين تبلغ 20 مل من الأكسجين لكل 100 مل من الدم.

ملاحظة: عندما نتبرع بالدم ، فإن أخذ "وحدة" واحدة ، أو ما يقرب من 500 مل ، يمثل انخفاضًا بنسبة 8 إلى 10 ٪ تقريبًا في إجمالي حجم الدم وعدد خلايا الدم الحمراء المنتشرة. ينصح المتبرعون بشرب الكثير من السوائل. نظرًا لأن البلازما عبارة عن ماء في الغالب ، فإن استبدال السوائل البسيط يعيد حجم البلازما إلى طبيعته خلال 24-48 ساعة. ومع ذلك ، يستغرق الأمر ستة أسابيع على الأقل لتجديد خلايا الدم الحمراء حيث يجب أن تمر خلال التطور الكامل قبل أن تعمل. يضعف فقدان الدم بشكل كبير من أداء رياضيي التحمل عن طريق تقليل قدرة توصيل الأكسجين.

أثناء تدريب التحمل ، يستجيب الرياضيون مع زيادة حجم خلايا الدم الحمراء (RCV) وزيادة حجم البلازما (PV). نظرًا لأن الزيادة في PV أكبر من الزيادة في RCV ، فإن نسبة الهيماتوكريت لدى هؤلاء الرياضيين تميل إلى أن تكون أقل قليلاً من تلك الموجودة في الأفراد المستقرين.

1-2- الكريات البيض

تتشكل كذلك من النقي، عددها خمسة آلاف حتى عشرة آلاف في الممّ من الدم. ولها عدة أنواع:

عديدات النوى polynucleaires: ولها نواة مفصصة وهيولى محببة ولذلك تسمى أيضاً الخلايا المحببة granulocytes، وتحوي هذه الحبيبات إنظيمات ومواد أخرى تستطيع تخريب الأجسام التي تسبب الأخماج. تطرأ على هذه الخلايا تبدلات كثيرة في سيرها نحو النضج من خلايا الأرومة النقوية myeloblastes غير الناضجة حتى «الخلايا القاتلة للأخماج» الناضجة. وتقسم عديدات النوى بحسب حجمها وألفتها للألوان إلى عدلات neutrophiles وحمضات eosinophiles وأسسات basophiles، وأكثرها عدداً العدلات وهي أكبرها شأناً في الكفاح ضد الجراثيم بخاصة البلعمة phagocytose التي تتصف بها، ولا تعيش في الدم أكثر من يوم واحد.

- **اللمفاويات lymphocytes:** التي تجول في الدم وفي اللمف، ويمكن أن تنتقل من أحدهما إلى الآخر، شأنها كبير في الدفاع المناعي إذ تساعد على تعرف الجراثيم والبدء بإنتاج أضداد لمحاربتها، ويختلف عمرها بين عدة أيام وعدة سنوات, والخلايا اللمفية نوعان, البائية والتائية، حيث تقي الخلايا البائية الجسم من انتشار الجراثيم بتبدلها إلى خلايا مصورية plasma-cell تنتج الأضداد التي تلتصق بالجراثيم الغازية وعندئذ يمكن للخلايا المحببة granulocytes رؤيتها والقضاء عليها، أما الخلايا التائية فتعرف الخلايا المصابة بالفيروسات وتخربها بمساعدة البالعات.
- **وحيدات النوى monocytes:** تبدأ كذلك من نقي العظام من أرومة غير ناضجة تسمى وحيدة الأرومة monoblastes، ثم تنضج حتى تصبح وحيدات monocytes، وبعد أن تجول في الدم نحو يوم واحد تدخل النسج لتصبح بلعمات macrophages تستطيع القضاء على بعض الجراثيم بالإحاطة بها وهضمها.

1-3- الصفيحات plaquettes

تتكون من النوّاء megacaryocytes النقيية، وهي عناصر غير منواة صغيرة يقدر حجمها بنحو 2 إلى 3 ميكرون، عددها نحو ثلاثمائة آلاف في الممّ من الدم، تعيش نحو ثمانية أيام ولها شأن كبير في حوادث الارقاء.

تعداد الكريات: يمكِّن تعداد الكريات من حساب العدد المطلق للخلايا الموجودة في حجم معين من الدم، ويجرى التعداد آلياً بوساطة عدادات يقلل استعمالها من الأخطاء.

ويعنى بالصيغة الكروية القيمة النسبية لمختلف أنواع الكريات البيض.

أما تكدس الدم hematocrite فيمثل نسبة حجم الكريات الحمر إلى حجم الدم ويراوح في الحالات الطبيعية بين 40 إلى 50% عند الرجل الكهل وبين 38 إلى 47% عن المرأة.

ويبين الجدول التالي مقادير هذه العناصر والنسب المختلفة.

4-1- المصورة plasma

مجموعة من شوارد مختلفة وبروتينات محلولة في وسط مائي، ويرتبط بثبات هذا المحلول ثبات الوسط الداخلي, أما الشوارد فمنها الصواعد amions مثل البيكاربونات والكلور والفوسفات والكبريتات والحموض العضوية، ومنها الهوابط cations مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكلسيوم والمغنيزيوم، وينظم مجموع الشوارد المصورية، الضغط التناضحي pression osmotique والتوازن الحامضي الأساسي وتوزيع الماء في العضوية, أما البروتينات المصورية فلها ثلاثة أنواع:

الألبومين والغلوبولين والفبرينوجين، مقدارها نحو 70غ/ليتر من المصورة، وأكثرها شأناً الألبومين (40غ/ل)، وقد بينت التحاليل الدقيقة وجود أكثر من عشرين نوعاً مختلفاً من البروتينات في المصورة، لها وظائف مختلفة ضيقة الاختصاص، فالألبومينات والغلوبولينات أساسية لدعم الضغط الجرمي pression oncotique في المصورة، وللغلوبولينات ولاسيما المناعية منها (الأضداد anticorps) شأن أساسي في دفاع العضوية، وللفبرينوجين شأن أساسي في حوادث الارقاء، وتنقل بعض البروتينات المعادن والهرمونات والشحوم والفضلات، وفي المصورة عدا هذا مواد عضوية لا بروتينية بعضها أساسي في حياة الخلية وبعضها نتيجة حاصلات الاستقلاب، منها:

المواد الآزوتية كالبولة urée والحموض الأمينية الحرة وحمض البول والكرياتينين والبيلروبين والنشادر,

والمواد اللاآزوتية كالغلوكوز والشحوم والكولسترول والفوسفوليبيد وحمض اللبن, وفيما يأتي المقادير الوسطية لهذه العناصر المختلفة الموجودة في المصورة:

الهوابط :(m/Eq/L)

الصوديوم 142، البوتاسيوم 5، الكلسيوم 5، المغنزيوم 3، المجموع 155.

الصواعد (m/Eq/L)

البيكاربونات 27، الكلور 103، حمض الفوسفور 2، حمض الكبريتي 1، حموض عضوية 6، بروتينات 16، المجموع 155.

البروتينات الأساسية (غ/ل):

الألبومين 40-45، الغلوبولين a1 2-4، الغلوبولين a2 5.4-7، الغلوبولين b 7-13، الغلوبولين y 10-15، الفبرينوجين 2-4، البروتينات جميعها 60-75.

المواد العضوية اللابروتينية (مغ/ل):

المواد الآزوتية: البولة 300 (+100)، الحموض الأمينية الحرة 500 تقريباً، حمض البول 60، الكرياتين - الكرياتينين 30، البيلروبين 5، النشادر 1-2.

المواد اللاآزوتية: الغلوكوز 1000، الليبيدات 4000-5000، الكولسترول 1500-2200، الليبيدات الفوسفورية 1500، حمض اللبن 100.

2- خصائص الدم الأساسية

2-1- الخصائص الفيزيائية: وأهمها خاصتان: التخثر coagulation واللزوجة viscosité.

- **خاصية التخثر:** هي تحول الدم من الحالة السائلة إلى حالة جلاتينية وترتبط بتكون الخثرة caillot، وينجم ذلك عن تحول الفبرينوجين fibrinogéne (وهو بروتين منحل) إلى فبرين غير منحل.

ويترابط الفبرين على شكل شبكة تكون هيكل الخثرة التي يؤدي تقلصها إلى ارتشاح المصل serum، ويحدث تحول الفبرونيجين إلى ليفين بوساطة خميرة تسمى الترومبين thrombin التي تنشأ من تفعيل ذرة من مولد الترومبين بعد سلسلة من التفاعلات الخميرية التي تنشأ من لمس الدم بسطح مكشوف للاندوتليوم (أنبوب تجربة أو جرح وعائي مثلاً) أو بوساطة العصارات النسجية، و يسير تشكل الترومبين خلال التخثر موازياً لمرحلة تحد من التخثر في المكان نفسه حين يكون ذلك ضرورياً. بالإضافة إلى عوامل التخثر التي تتكون من بروتينات بصرية ، يجب أن يكون هناك صفيحات دموية أو فوسفوليبيدات الأنسجة وأيونات الكالسيوم ، ونقص أحد هذه العناصر يؤدي إلى عدم تخثر الدم، وهو السبب في مرض الهيموفيليا الناجم عن غياب أحد عناصر التخثر خلقياً.

ويبع التخثر بتخلص الخثرة من الفبرين (انحلال الفبرين fibrinolyse)، وهذا التخلص هو ظاهرة فيزيولوجية تسمح بإعادة المرور الوعائي ويقع تحت تأثير خميرة تسمى البلاسمين التي تفكك الفبرين غير المنحل إلى قطع صغيرة منحلة.

- **اللزوجة:** يشكل الدم سائلاً معقداً غير متجانس له درجة معينة من اللزوجة، وهذه لها اهمية كبيرة في دوران الدم ولاسيما الدوران في الأوعية الشعرية، وتتعلق بدرجة تكثف العناصر المرئية والبروتينات المصورية وقابلية تغيير شكل الكريات الحمر وميلها للتكدس agrégation.

- **التثقل الكروي sédimentation globulaire:** هو سقوط الكريات الحمراء العفوي في أنبوب تجربة يوضع فيه الدم مع مضاد تخثر، ويعكس درجة ميول هذه الكريات للالتصاق حين يصبح الدم ساكناً، ويختلف هذا الميول تبعاً للوسط البروتيني ولاسيما كمية البروتيدات الإجمالية والفبرنيوجين ولدراسته شأن كبير في تشخيص الكثير من الأمراض ومراقبة سيرها.

- **وظيفة النقل:** ينقل الدم الغازات والأغذية والهرمونات والشوارد وغيرها، من مصادرها إلى الأنسجة المختلفة والأعضاء كما ينقل الفضلات من هذه الأنسجة والأعضاء إلى أعضاء الإفراغ.

أما الغازات فيقوم خضاب الدم بمهمة نقل المهم منها وهي الأكسجين وغاز الفحم، فهو يتحد بالأكسجين في الرئتين مؤلفاً (الأوكسي ايموغلوبين) وحين وصوله إلى الأنسجة المختلفة يتفكك ليعطي هذه الأنسجة الأكسجين، ثم يتحد هناك بغاز الفحم لينقله إلى الرئتين حيث يتفكك من جديد طارحاً فيها هذا الغاز، ليتحد من جديد مع الأكسجين، أما الأغذية والهرمونات وغيرها، وكذلك الفضلات فللبروتينات الشأن الأكبر في نقلها.

3- تفاعلات الدفاع عن العضوية

- **الخاصية المناعية في الإنسان:** للدم الشأن الأول في تعريف هوية الإنسان تجاه غيره من أنواع الحيوانات الأخرى، وفي تعريف الهوية الشخصية داخل النوع الإنساني نفسه.

والكريات الحمراء الحاملة لكثير من الخصائص المستضدية antigene تحدد الزمرة الدموية ذات الشأن الكبير في نقل الدم، وتحمل الكريات البيض والصفيحات مستضدات نسيجية للتوافق النسجي الأساسي

في تحمل الطعوم الذاتية، والزمر المصلية للغلوبولينات المناعية immunoglobuline والأبتوغلوبين

haptoglobine والترانسفيرين transferrine مثلاً تكمل كذلك تحديد هوية الإنسان. وإن انتقال مختلف هذه الخصائص وراثياً يسمح باستعمالها في التحريات من أجل إثبات الأبوة.

والأهم من هذا فإن العضوية تعرف كل جسم غريب عنه لا يحمله فيدفع جهازه الدفاعي المناعي للمكافحة ضد هذا الجسم، وينطبق هذا أيضاً في الدفاع ضد الأخماج وضد الطعم من عضو ما.

- **جهاز الدفاع المناعي:** الدم هو الطريق الأسهل لدراسة جهاز الدفاع المناعي، وهناك نظرياً نموذجان من المناعة:

مناعة خلطية humorale: تتعلق بتركيب الأضداد الموجهة ضد المستضدات. والأضداد هي غلوبولينات مناعية لها ثلاثة نماذج أساسية IgG، IgM، IgA تفرز من خلايا خاصة هي الخلايا المصلية plasmocytes المشتقة من اللمفيات، ويمكن نقل هذا النوع من المناعة بحقن المصل الحاوي على الأضداد.

مناعة خلوية: وهي لا تعمل بوساطة الأضداد الجائلة ويمكن أن تنتقل بنقل لمفيات صغيرة محسسة، واستئصال التوتة (التيموس) باكراً بعد الولادة يزيلها في الحيوانات.

وفي هذين النموذجين المختلفين للمناعة للمفيات الشأن الكبير في تعرف الأضداد (حيث تعمل البالعات كذلك) وفي نقل المعلومات للخلايا الفعّالة، وفي التذكير بأول تماس مع الأضداد.

4- الكفاح ضد الخمج

يتدخل الدم لمكافحة الخمج بطريقتين:

ابتلاع العناصر بكثيرات النوى: وهي وسيلة دفاعية في المقام الأول لعدد كبير من الأخماج، فكثيرة النوى تُجر نحو العنصر بآلية جر كيمياوية وتحيطه بالبلعمة ثم تبتلعه.

وعمل وسائل الدفاع المناعية يؤدي إلى تفاعل من النموذج الخلطي humoral (كما في الأضداد ضد الكزاز) أو من النموذج الخلوي (كما في عصية السل)، ويفسر هذا النوع من الدفاع أهمية التلقيح من جهة، وخطر انعدام الوظيفة المناعية من جهة أخرى.

لزوجة الدم

تشير اللزوجة إلى سمك الدم. من مناقشتنا لمقاومة الأوعية الدموية نقول أنه كلما زادت لزوجة السائل ، زادت مقاومته للتدفق. عادة ما تكون لزوجة الدم حوالي ضعف لزوجة الماء وتزداد مع زيادة الهيماتوكريت. بسبب نقل الأكسجين بواسطة خلايا الدم الحمراء ، يتوقع المرء أن تؤدي زيادة عددها إلى زيادة نقل الأكسجين إلى الحد الأقصى. ولكن إذا لم تكن الزيادة في عدد خلايا الدم الحمراء مصحوبة بزيادة مماثلة في حجم البلازما ، فستزداد لزوجة الدم ومقاومة الأوعية الدموية ، مما قد يؤدي إلى انخفاض تدفق الدم. عادة لا تكون هذه مشكلة إلا إذا وصلت نسبة الهيماتوكريت إلى 60٪ أو أكثر. على العكس من ذلك ، يبدو أن الجمع بين الهيماتوكريت المنخفض وحجم البلازما العالي ، مما يقلل من لزوجة الدم ، له بعض الفوائد لوظيفة نقل الدم لأن الدم يمكن أن

يتدفق بسهولة أكبر. لسوء الحظ ، غالبًا ما ينتج انخفاض الهيماتوكريت عن انخفاض عدد خلايا الدم الحمراء ، كما هو الحال في أمراض مثل فقر الدم. في ظل هذه الظروف ، يمكن أن يتدفق الدم بسهولة ، لكنه يحتوي على عدد أقل من الناقلات ، مما يعيق نقل الأكسجين. للحصول على الأداء البدني الأمثل ، من المستحسن وجود الهيماتوكريت المنخفض الطبيعي مع عدد خلايا الدم الحمراء الطبيعي أو المرتفع قليلاً, هذا المزيج يسهل نقل الأكسجين, يحقق العديد من رياضيي التحمل هذا المزيج كجزء من التكيف الطبيعي لنظام القلب والأوعية الدموية مع التدريب, ويكون الدم حوالي 55٪ إلى 60٪ بلازما و 40٪ إلى45٪ عناصر مشكلة, تشكل خلايا الدم الحمراء حوالي 99٪ من العناصر المكونة.

يتم نقل الأكسجين بشكل أساسي عن طريق الارتباط بـالهيموغلوبين في خلايا الدم الحمراء, فكلما زادت لزوجة الدم تزداد مقاومة التدفق, وتعد زيادة عدد خلايا الدم الحمراء مفيدة للأداء الهوائي ولكن فقط تصل إلى النقطة (الهيماتوكريت تقترب من 60٪) حيث تحد اللزوجة من التدفق.

للدم أيضًا القدرة على التكيف خلال الإجهاد, أثناء الراحة يطلق الهيموغلوبين (الصبغة الحمراء في الدم) ثلث الأكسجين الذي يحمله فقط, وأثناء التمرين يزداد إطلاق الأكسجين بشكل كبير.

بفضل تكيف القلب والأوعية الدموية والدم ، يمكن أن تصل كمية الأكسجين المتاحة للعضلات أثناء التمرين إلى 60 ضعف قيمتها عند الراحة.

توزيع الدم في الجسم

يختلف توزيع الدم إلى أنسجة الجسم المختلفة اختلافًا كبيرًا اعتمادًا على الاحتياجات الفورية لنسيج معين مقابل تلك الموجودة في مناطق أخرى من الجسم. كقاعدة عامة ، تتلقى الأنسجة الأكثر نشاطًا في التمثيل الغذائي أكبر كمية من الدم. في حالة الراحة في ظل الظروف العادية ، يتحد الكبد والكلى لتلقي ما يقرب من نصف النتاج القلبي ، بينما تتلقى عضلات الهيكل العظمي المسترخية حوالي 15-20٪ فقط.

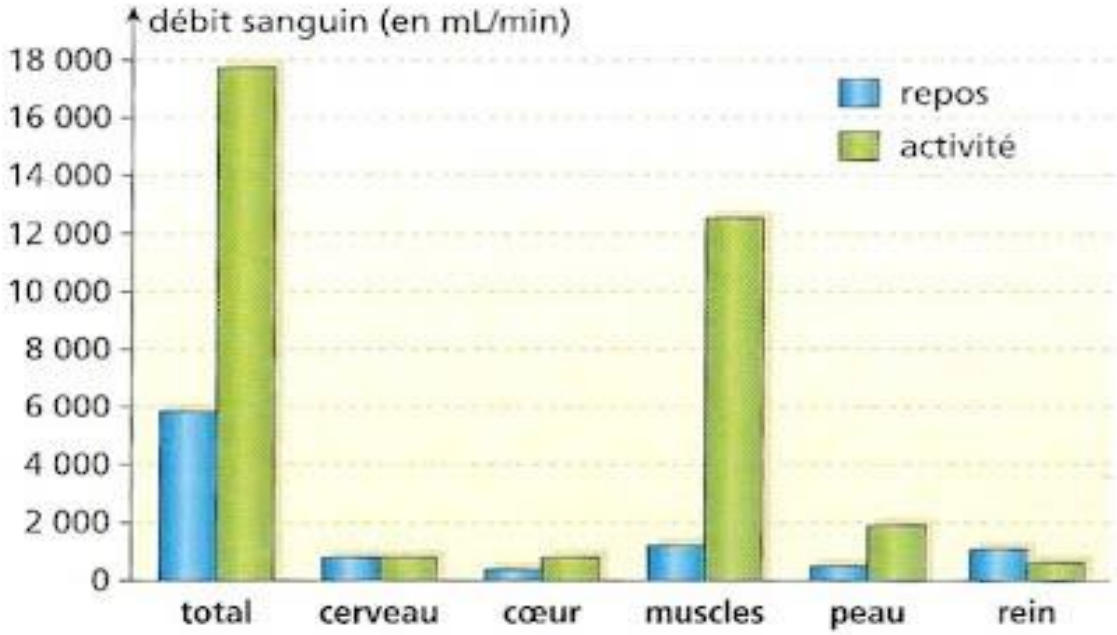
أثناء التمرين ، يُعاد توجيه الدم إلى المناطق التي تشتد الحاجة إليها, فخلال تمارين التحمل المكثفة ، يمكن أن تتلقى العضلات المتقلصة ما يصل إلى 80٪ أو أكثر من تدفق الدم ، ويقل التدفق إلى الكبد والكلى. تسمح إعادة التوزيع هذه ، جنبًا إلى جنب مع زيادة النتاج القلبي ، بتدفق الدم إلى العضلات النشطة حتى 25 مرة.

تتوزع كمية الدم في اعضاء الجسم اثاناء الراحة على انحو التالي:

يضخ القلب الدم في الجسم هو اكثر من 5000 ملل خلال الراحة ويتوزع على الشكل التالي

الامعاء 25%–20 - القلب 5%–4 - الكليتين 20%– العضام % 3-5 – المخ 15% - الجلد 5%–4 - العضلات 20%–15.

أما اثناء المجهود الرياضي فيتوزع الدم على مستوى الأمعاء بنسبة 3- 5%و5%–4 بالنسبة لتغذية عضلة القلب وتصل إلى 2–4% للكليتين وتتوزع على مستوى العظام بنسبة 0.5–1% الجهاز العصبي3- 4 % أما الجلد فنسبته بين5 و20% وقد يصل الى 25 لتر خلال التمرين الرياضي.



الشكل رقم 5 توزيع الدم في انسجة الجسم خلال الراحة والمجهود