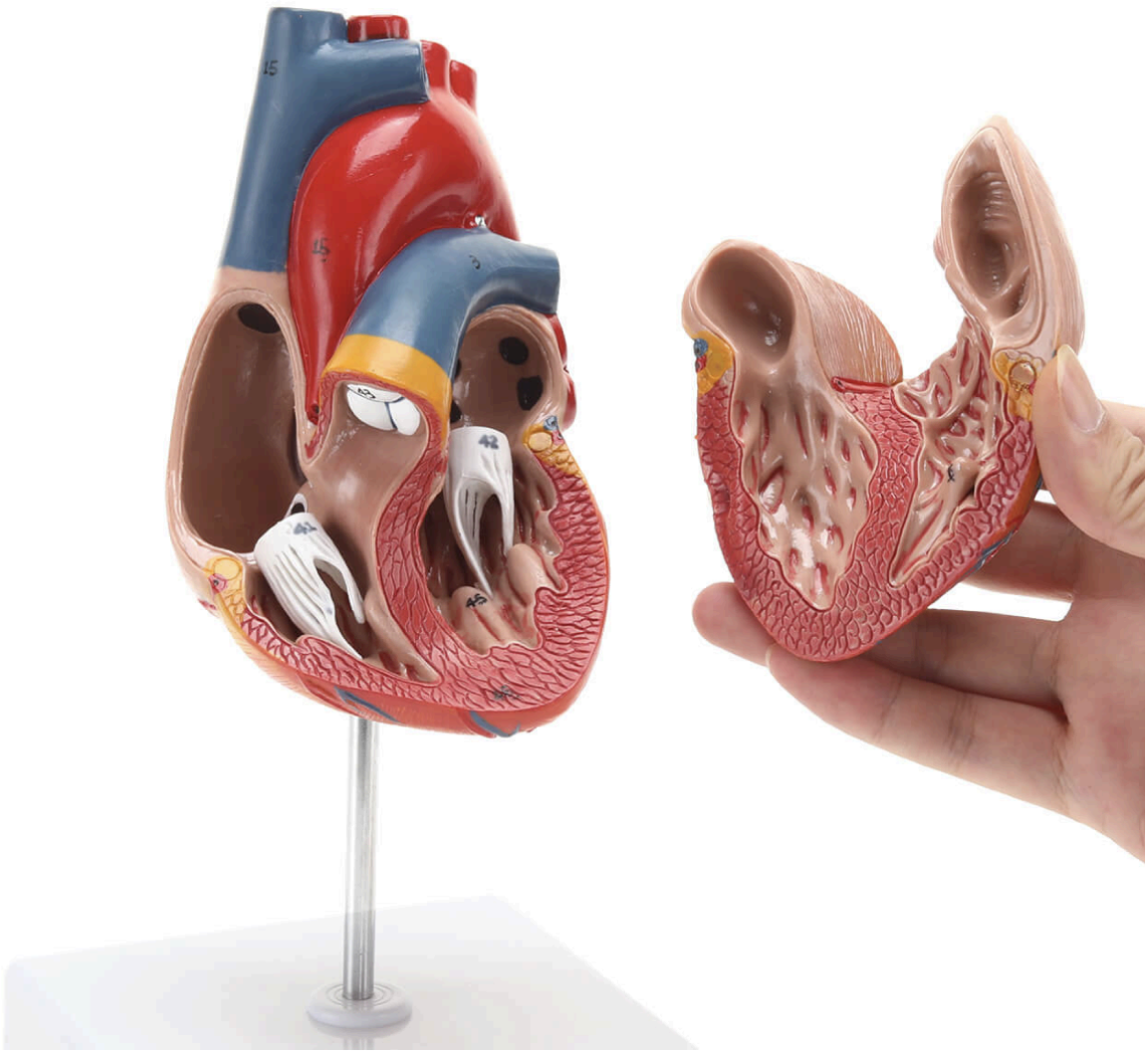
الجامعة المستنصرية

التربية البدنية وعلوم الرياضة



محاضرة في مادة

الفسلجة لطلبة الدكتوراه

الاستجابة القلبية الوعائية والتكيفات المزمنة

ا. د اخلاص حسين دحام

المقدمة

يُعدّ الجهاز القلبي الوعائي (Cardiovascular System) حجر الزاوية في فسيولوجيا التدريب الرياضي. فهو يضمن إمداد العضلات بالأوكسجين والمواد الغذائية، ويقوم في الوقت نفسه بإزالة نواتج الاستقلاب مثل ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) وحمض اللاكتيك. عند القيام بأي نشاط بدني، تحدث تغيرات لحظية سريعة تعرف بالاستجابات الحادة (Acute Cardiovascular Responses)، وهذه الاستجابات تهدف إلى تلبية المتطلبات المفاجئة للجسم.

أما التكيفات المزمنة (Chronic Cardiovascular Adaptations) فهي تغيرات هيكلية ووظيفية تراكمية تحدث نتيجة التدريب المستمر. هذه التغيرات تمثل الأساس العلمي لبرامج اللياقة البدنية وللبرامج العلاجية الموجهة لمرضى القلب والدورة الدموية.

من الأمثلة :

- .العدّاءون لمسافات طويلة يمتلكون حجم بطين أيسر أكبر مع معدل ضربات قلب أقل أثناء الراحة
- رافعي الأثقال يمتلكون جدران قلبية أكثر سماكة نتيجة الأحمال الضاغطة

هذا التباين يوضح أن طبيعة التكيف تعتمد على:

1- نوع التدريب

2- شدت التدريب

3- مدت التدريب

4- فردانية الاستجابة (الفردانية Individuality) مبدأ أساسي في فسيولوجيا التدريب ينص على أن استجابة الجسم للتدريب تختلف من شخص إلى آخر، تبعاً لعوامل وراثية (مثل نوع الألياف العضلية، وجود جينات مثل ACTN3)، العمر، الجنس، مستوى اللياقة البدنية، الحالة الصحية، ونمط الحياة.
التباين Variation: عند تطبيق نفس الحمل التدريبي، قد يظهر شخص زيادة كبيرة في السعة الهوائية أو التحمل القلبي الوعائي، بينما يظهر آخر تحسنًا أقل بكثير، رغم الظروف المتشابهة

الأسس الفسيولوجية للاستجابة القلبية الوعائية

1 -(HR) معدل ضربات القلب .

1-.(Preload) العائد الوريدي

2 -.(Afterload) مقاومة الجدار الأبهري

3.-(Contractility) قوة انقباض العضلة القلبية

.أثناء التمرين، يزداد العائد الوريدي عبر مضخة العضلات والتنفس

3 -(Q) الناتج القلبي .

يزداد الناتج القلبي خطيًا مع شدة التمرين حتى الحد الأقصى لاستهلاك الاوكسجين

VO_2max لدى الرياضيون المدربون إذ يمتلكون

أقل معدل لضربات القلب HR مع زيادة في حجم الضربة SV وأعلى نتيجة للناتج القلبي Q

4 -(BP) ضغط الدم .

أثناء تمرين ديناميكي (ركض، دراجة): ↑ الضغط الانقباضي فقط

أثناء تمرين إيزومتري/مقاومة: ↑ الانقباضي والانبساطي معًا بسبب زيادة المقاومة الطرفية

التحكم العصبي-الهرموني

.(↑ HR, ↑ Contractility, ↑ BP) (↓ HR) الجهاز العصبي: يوازن بين الودي ولا ودي

(RAAS) تتحكم الهرمونات: الأدرينالين، النورأدرينالين، الرينين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون

.لتنظيم حجم السوائل وضغط الدم

لتوسع الأوعية العضلية بفعل التنظيم المحلية لكل من

.NO، Adenosine، H^+، وCO_2

جدول (1): مقارنة استجابات الراحة والتمرين

المتغير	حالة الراحة	تمرين متوسط (50–70% VO_2max)	تمرين شديد (≥85% VO_2max)
معدل ضربات القلب HR	60–80 ض/د	120–150 ض/د	170–200 ض/د
حجم الضربة SV (مل/ض)	70–90 مل	100–120 مل	120–150 مل (يصل للذروة)
النتاج القلبي Q (ل/د)	4.5–6 لتر/د	12–18 لتر/د	20–40 لتر/د
ضغط الدم الانقباضي SYS	~120 ملم زئبق	140–160 ملم زئبق	180–220 ملم زئبق

ضغط الدم الانبساطي DIA	~80 ملم زئبق	ثابت أو ↓ قليل (80–75)	ثابت أو ↓ بسيط (80–70)
تدفق الدم للعضلات	15–20% من النتاج القلبي	50–60%	80–85%
تدفق الدم للأحشاء	25% تقريبًا	10–15%	3–5%
استهلاك الأوكسجين VO_2	0.25 لتر/د	1.5–2.5 لتر/د	3.5–6 لتر/د (VO_2max)

ملاحظات:

- القيم تقريبية وتعتمد على العمر، الجنس، مستوى اللياقة.
- الانخفاض في الضغط الانبساطي DIA أثناء التمرين الديناميكي علامة على توسع الأوعية العضلية.
- زيادة تدفق الدم للعضلات يقابلها انخفاض للأحشاء والجلد (عدا عند ارتفاع الحرارة حيث يزداد تدفق الدم الجلدي).

الاستجابات القلبية الحادة أثناء التمرين

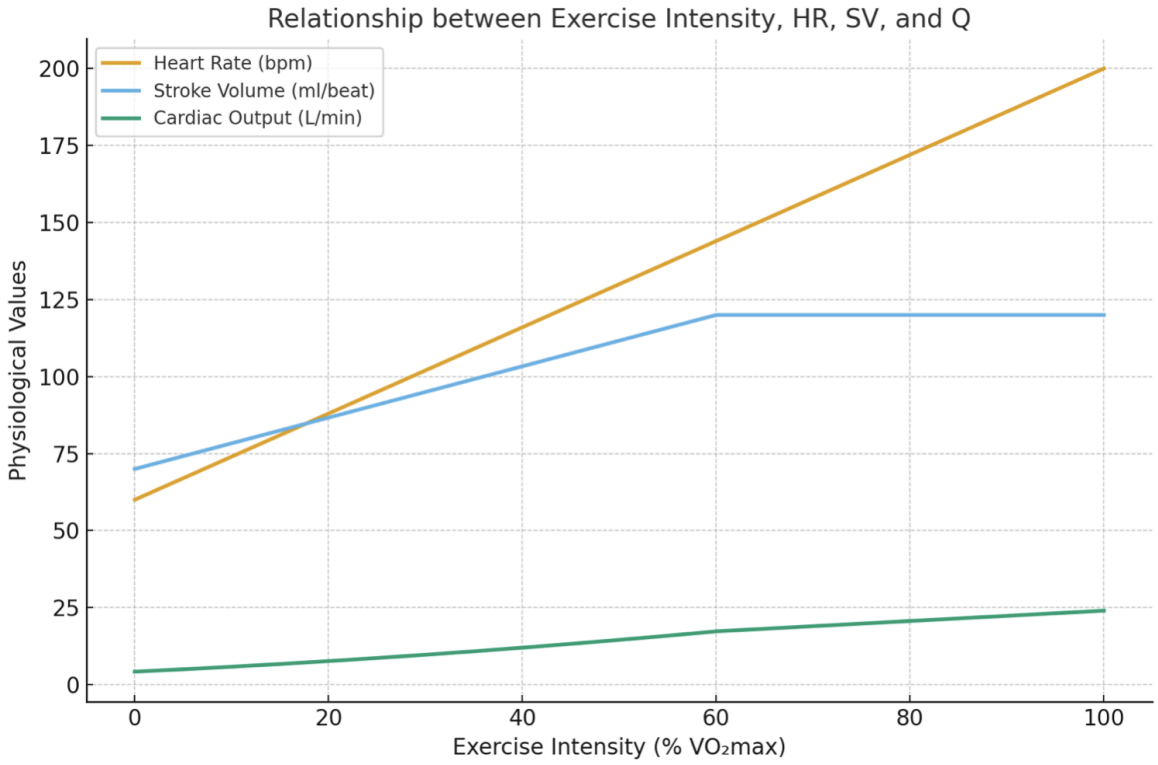
الزيادة الفورية في HR: تبدأ خلال ثوانٍ من بدء النشاط.

تأثير شدة التمرين: كلما ارتفعت الشدة زاد معدل ضربات القلب حتى يصل اعلى معدل لضربات القلب HRmax = 220 – العمر.

SV: 40–60 يزداد حتى مستوى VO₂max% ثم يثبت.

Q: يرتفع حتى 8 أضعاف الراحة.

رسم بياني: HR وQ مقابل شدة التمرين.



العلاقة بين شدة التمرين ومعدل ضربات القلب والنتاج القلب:

المحور الأفقي (X): شدة التمرين كنسبة مئوية من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين VO₂max (0%–100%).

المحور العمودي (Y): القيم الفسيولوجية (HR بالضربة/دقيقة، Q باللتر/دقيقة).

المنحنى الأول (HR): خط صاعد شبه خطي يبدأ من 60 ض/د عند الراحة ويصل ~200 ض/د عند الجهد الأقصى.

HR ويعكس مساهمة كل من ،VO_2max صعود تدريجي حتى 20–40 لتر/د عند :(Q) المنحنى الثاني
.SVو

:التفسير الفسيولوجي .2

VO_2max %عند البداية (0–30

.Q هي السبب الرئيسي لارتفاع HR الزيادة في

.يزداد قليلًا بسبب زيادة العائد الوريدي (SV) حجم الضربة

:(VO_2max %عند المستوى المتوسط (40–60

.بالارتفاع HR يستمر

.إلى ذروته (120–150 مل) ويثبت تقريبًا SV يصل

.يرتفع بشكل خطي تقريبًا مع شدة التمرين Q النتاج القلبي

:(VO_2max %عند المستوى الشديد (≥85

.ثابت SV لأن HR يعتمد كليًا على Q

.حوالي 1.2–1.5 لتر/د Q مع كل زيادة 10 ضربات بالدقيقة، يزداد

الاستجابات الوعائية الحادة

.توسع الأوعية في العضلات النشطة (العاملة) وزيادة التوصيل الشعيري

.(Digestive Organs, Kidneys) تضيق الأوعية في الأحشاء غيرالعاملة الغير النشطة

.البروستاسيكلين، الأدينوزين ،NO :النواقل

.زيادة تدفق الدم الجلدي مع التعرق للمساعدة في التنظيم الحراري

التكيفات القلبية المزمنة مع التدريب الهوائي

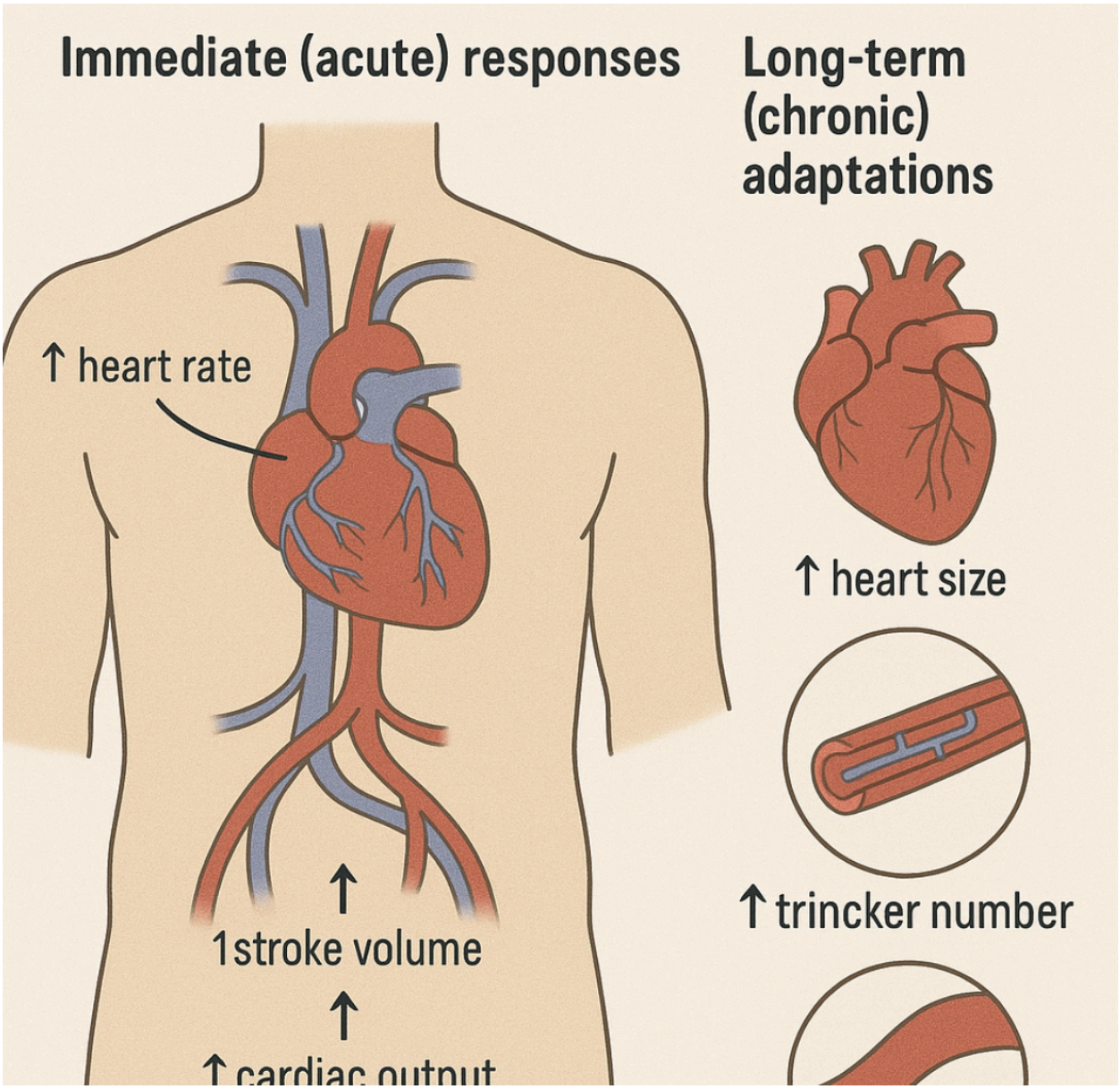
.نتيجة زيادة حجم البطين الأيسر :(Eccentric Hypertrophy) تضخم فسيولوجي

.معدل الراحة < 50 ض/د :Bradycardia

.زيادة حجم الضربة: حتى 150 مل/ضربة

.مؤشّر رئيسي للياقة :VO_2max زيادة

.أقل HR كفاءة ضخ أعلى: نفس الحمل



جدول (2): قلب الرياضي مقابل القلب غير المدرب

جدول (2): Athlete’s Heart vs. Untrained Heart

المتغير	قلب غير مدرّب	قلب الرياضي (Athlete's Heart)	التفسير العلمي
حجم البطين الأيسر (Left Ventricular Volume)	طبيعي (120–150 مل)	أكبر (حتى 200–250 مل)	نتيجة التدريب الهوائي (Eccentric Hypertrophy) وزيادة العائد الوريدي.
سماكة جدار البطين (LV Wall Thickness)	8–10 ملم	11–13 ملم (في رياضيي القوة حتى 15 ملم)	تضخم فسيولوجي لتحمل الضغط والحجم الزائد، مختلف عن التضخم المرضي.
حجم الضربة SV ((Stroke Volume	70–90 مل	120–150 مل	زيادة كفاءة الامتلاء والانقباض القلبي.
معدل ضربات القلب أثناء الراحة HR Rest	65–80 ض/د	35–50 ض/د	Bradycardia فسيولوجية ناتجة عن زيادة التون اللاودي (Vagal Tone).
النتاج القلبي Q (راحة)	4.5–6 لتر/د	~5 لتر/د (مماثل)	ثابت لأن انخفاض HR يُعوض بزيادة SV.

VO_2max	30–45 مل/كغ/د	60–85 مل/كغ/د	انعكاس مباشر لزيادة Qmax وكثافة الشعيرات.
كثافة الشعيرات الدموية	طبيعية	أعلى بنسبة 20–40%	زيادة التروية العضلية وتحسين التبادل الغازي.
الوظائف الكهربائية (ECG)	طبيعية	تغييرات تكيفية (محور كهربائي مختلف، HR بطيء)	يجب التفريق بينها وبين اعتلال عضلة القلب.
الضغط الدموي	طبيعي (120/80)	طبيعي أو أقل	بسبب انخفاض المقاومة المحيطية الكلية وزيادة مرونة الأوعية.

ملاحظات توضيحية:

- "قلب الرياضي" هو تضخم فسيولوجي وليس مرضي:
  - يحدث بتوازن بين زيادة حجم التجويف وزيادة سماكة الجدار.
  - يختلف عن اعتلال عضلة القلب التضخمي (HCM) حيث يكون التضخم غير متناسب ويؤدي إلى انسداد وظيفي.
- نوع التدريب يحدد طبيعة التكيف:
  - الهوائي (Endurance): تضخم حجمي (Eccentric).

- اللاهوائي/القوة (Strength): تضخم جداري (Concentric).

التكيفات الوعائية المزمنة

↑ كثافة الشعيرات.

↑ حساسية المستقبلات البطانة (Endothelial Sensitivity).

↓ ضغط الدم الانقباضي في مرضى الضغط.

↑ تصلب الشرايين، ↓ المرونة الشريانية.

التكيفات مع التدريب اللاهوائي والمقاومة

تضخم مركيزي (Concentric Hypertrophy): زيادة كبيرة في حجم البطين دون سماكة الجدار.

ارتفاع الضغط العابر: خاصة في رفع الأثقال.

قوة انقباضية أعلى: تكيّف مع المقاومة الطرفية.

(3): مقارنة الاستجابات الحادة (Acute) والتكيفات المزمنة (Chronic) بشكل موسّع ومفصّل

جدول (3): Acute vs Chronic Cardiovascular Adaptations

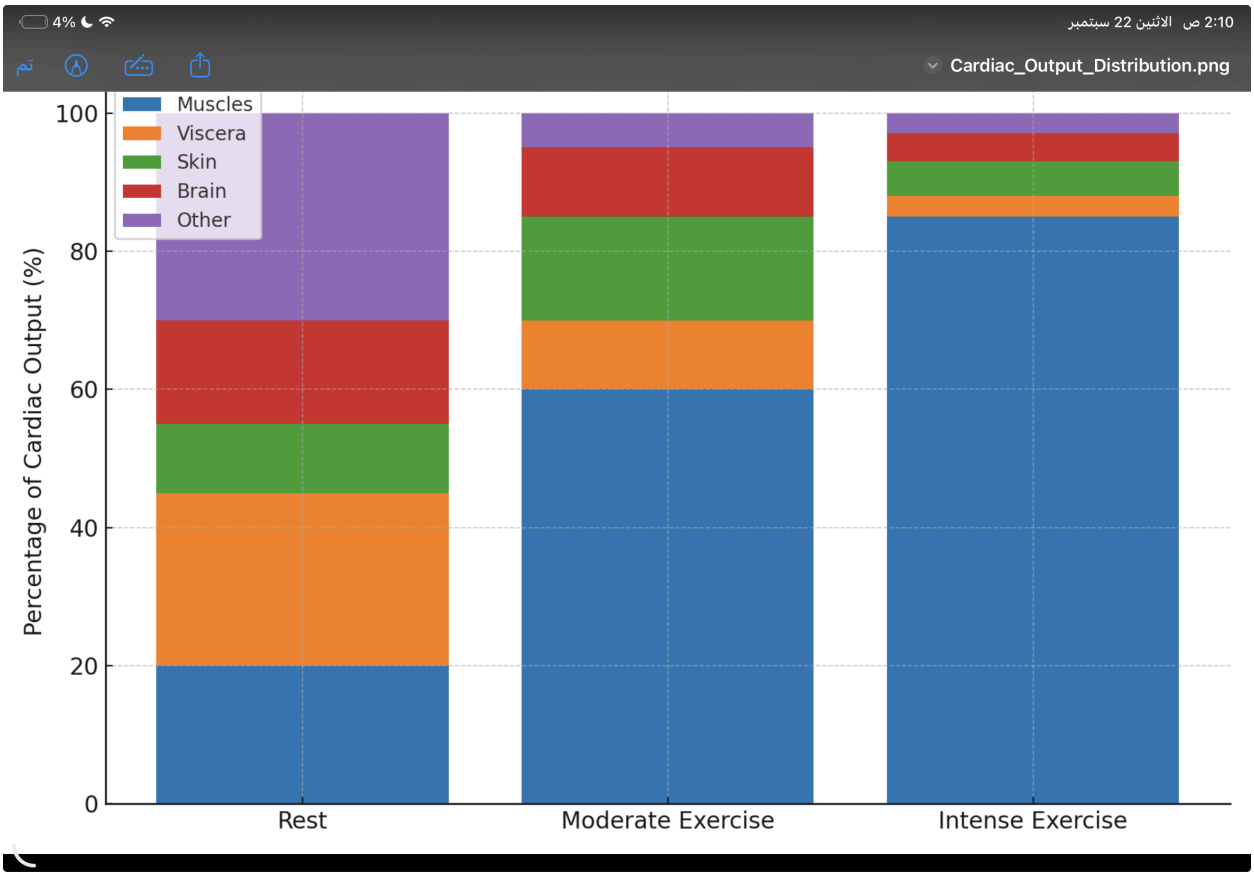
المتغير	الاستجابات الحادة (Acute Responses)	التكيفات المزمنة (Chronic Adaptations)	التفسير العلمي

معدل ضربات القلب HR	↑ سريع ومباشر مع بداية التمرين، يتناسب مع شدة الجهد حتى HRmax.	↓ في الراحة (Bradycardia)، ↓ عند نفس الشدة مقارنة بغير المدربين.	زيادة التون اللاودي وتحسّن الكفاءة القلبية.
حجم الضربة SV	↑ تدريجي حتى 40–60% VO_2max ثم يثبت.	↑ ملحوظ (120–150 مل) بسبب تضخم البطين الأيسر وزيادة العائد الوريدي.	قانون فرانك–ستارلينغ + تضخم فسيولوجي.
النتاج القلبي Q	↑ خطي مع شدة التمرين (حتى 20–40 لتر/د).	↑ أقصى Qmax بفضل SV أعلى رغم HR أقل.	تحسين قدرة القلب على ضخ الدم أثناء الجهد.
ضغط الدم Systolic BP	↑ تدريجي (قد يصل إلى 180–220 ملم زئبق).	↓ أو استقرار عند الراحة، ↓ لدى مرضى الضغط.	توسع الأوعية وزيادة المرونة الشريانية.
ضغط الدم Diastolic BP	ثابت أو ↓ قليل أثناء الجهد الديناميكي.	↓ خفيف عند الراحة بفضل تحسن التحكم الوعائي.	توسع الأوعية الطرفية وزيادة NO.
توزيع الدم	↑ للعضلات النشطة (80–85%)، ↓ للأحشاء والجلد.	↑ كثافة الشعيرات الدموية وزيادة الكفاءة في التبادل الغازي.	تحسن النقل الأوكسجيني والأيض العضلي.

استهلاك الأوكسجين VO_2	↑ خطي مع شدة التمرين حتى VO_2max.	↑ VO_2max (20–40% أعلى من غير المدربين).	زيادة Qmax + زيادة الكفاءة الميتوكوندرية.
الشعيرات الدموية Capillaries	غير متأثرة فورياً.	↑ كثافة الشعيرات بنسبة 20–40%.	تحسن في التروية العضلية والتخلص من الفضلات.
التحكم العصبي	↑ نشاط الودي، ↓ نشاط اللاودي.	↑ التون اللاودي في الراحة، ↓ الاستجابة الودية عند نفس الحمل.	إعادة توازن عصبي طويل الأمد.
الوظيفة البطانية Endothelial Function	توسع مؤقت بفعل NO وCO_2.	↑ إفراز NO وتحسن وظيفة البطانة على المدى الطويل.	↓ خطر تصلب الشرايين.

ملاحظات توضيحية:

- الاستجابات الحادة تحدث في دقائق/ساعات وتهدف للحفاظ على الاستتباب أثناء التمرين.
- التكيفات المزمنة تحدث بعد أسابيع–أشهر من التدريب، وهي المسؤولة عن التحسن في الأداء الرياضي والصحي.
- هذا الجدول يُظهر كيف أن الاستجابات اللحظية تُترجم مع الزمن إلى إعادة بناء بنيوي ووظيفي.



توزيع النتاج القلبي (Q) بين العضلات والأعضاء الأخرى

الوصف العام للرسم:

الرسم هو مخطط أعمدة متراكمة (Stacked Bar Chart) يوضح كيف يتوزع النتاج القلبي (Cardiac Output) بين الأعضاء الرئيسية في ثلاث حالات:

- الراحة
- التمرين المعتدل (VO_2max %70–50)
- التمرين الشديد (VO_2max %85≤)
- الألوان تمثل:
- الأزرق: العضلات (Muscles)

- البرتقالي: الأحشاء (Viscera: الكبد، الكلية، الأمعاء)
- الأخضر: الجلد (Skin)
- الأحمر: الدماغ (Brain)
- البنفسجي: باقي الأعضاء (Other)

التغيرات الرئيسية حسب الحالة:

الراحة:

- حوالي 20% من Q يذهب إلى العضلات.
- 25% للأحشاء (للهضم، الكبد، الكلى).
- 10% للجلد، 15% للدماغ، والباقي يتوزع على بقية الأنسجة.

التمرين المعتدل:

- يرتفع تدفق الدم للعضلات إلى 60% من Q.
- ينخفض تدفق الدم للأحشاء إلى 10% فقط.
- يزداد تدفق الدم للجلد إلى 15% لدعم التنظيم الحراري.
- الدماغ يحافظ على نفس التدفق المطلق (~750 مل/دقيقة) لكن نسبته تنخفض (10%).

التمرين الشديد:

- يصل تدفق الدم للعضلات إلى 85% من Q (الغالبية العظمى).
- ينخفض تدفق الدم للأحشاء إلى 3% فقط.
- الجلد يقل تدفقه (5%) لأن الجسم يعطي الأولوية للعضلات.

- الدماغ يبقى ثابت في القيمة المطلقة لكن نسبيًا ينخفض (4%).

التفسير الفسيولوجي:

- إعادة توزيع الدم (Blood Flow Redistribution):

آلية فسيولوجية يتحكم بها الجهاز العصبي الودي (Sympathetic NS) والمواد الموسعة للأوعية (NO, Adenosine) لتوجيه الدم نحو العضلات النشطة.

- الأولوية للعضلات:

عند زيادة شدة التمرين، تحتاج العضلات كميات هائلة من الأوكسجين، فتأخذ النسبة الأكبر من Q.

- الدماغ:

التدفق المطلق يبقى ثابت تقريبًا (~750 مل/د) لكنه يبدو أقل نسبيًا بسبب ارتفاع Q الكلي.

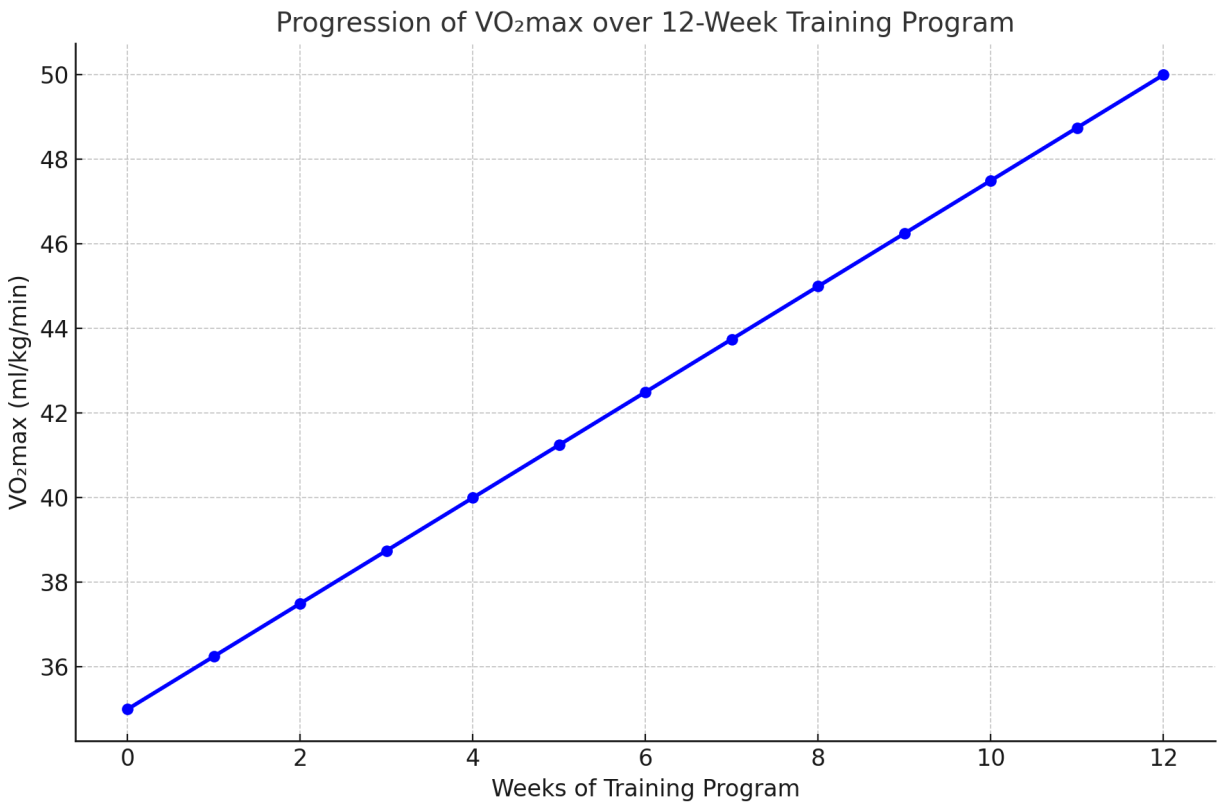
- الأحشاء والجلد:

يتناقص تدفقها بشكل كبير لتوفير الدم للعضلات، باستثناء الجلد الذي يزداد في التمرين المعتدل للمساعدة في تبريد الجسم ثم يقل عند الشدة القصوى.

الأهمية التطبيقية:

- الرياضيون: التدريب يحسّن كفاءة هذه الآليات، ما يسمح بتوصيل الدم للعضلات بشكل أسرع وأكثر فعالية.

- السريري: ضعف القدرة على إعادة توزيع الدم (مثلًا في قصور القلب) يؤدي إلى التعب المبكر وعدم القدرة على أداء مجهود.



تطور VO_2max مع برنامج تدريبي لمدة 12 أسبوعًا

الشرح:

1. المحور الأفقي (X): الأسابيع من 0 إلى 12.
2. المحور العمودي (Y): قيمة VO_2max بالمل/كغ/دقيقة.
3. القيم:
   - البداية: ~35 ml/kg/min (مستوى متوسط غير مدرّب).
   - بعد 6 أسابيع: ~43 ml/kg/min.
   - بعد 12 أسبوعًا: ~50 ml/kg/min (تحسن ملحوظ ~40%).

التفسير الفسيولوجي:

- الأسبوع 0–4: التحسن سريع بسبب زيادة الكفاءة العصبية-العضلية وتحسن التوزيع الدموي.
- الأسبوع 4–8: يبدأ التحسن البنيوي (زيادة كثافة الميتوكوندريا، تحسن في نقل الأوكسجين).
- الأسبوع 8–12: يستمر التحسن لكن بوتيرة أبطأ مع اقتراب الجسم من حدود التكيف.

الأهمية التطبيقية:

- الرياضيون المبتدئون يحققون زيادات سريعة في VO_2max في الأسابيع الأولى.
- الرياضيون المدربون مسبقًا يحتاجون برامج أطول أو شدة أعلى لزيادة إضافية.
- متابعة VO_2max عبر برنامج تدريبي يُستخدم كمعيار لتقييم كفاءة التدريب وتحسين الأداء.

من الضروري جدا ان يكون لدينا معرفة تامة عند وضع الوحدات التدريبية للمنهج التدريبي بزمن أداء التمرين وشدته والتكرار وزمن الراحة الأزمة والهدف من أداء التمرين لغرض تطوير العمل الوظيفي القلبي الوعائي و نظام الطاقة العامل كما موضح في الجدول أدناه

النظام اللاهوائي

النظام الفوسفاجيني

أنظمة الطاقة	ATP	CP	نظام حامض اللاكتيت	النظام الهوائي الاوكسجيني
زمن العمل بالنظام	1_ 4 ثانية	5 _ 25 ثانية	30 ث _ 3 دقائق	3 د _ 3 ساعات
الشدة	100 %	فوق 90 %	اكثر من 75 %	اقل من 75 %
التكرار	1 _ 3 ك	5 _ 12 ك	15 _ 30 ك	اكبر تكرار ممكن
الراحة	تامة	كاملة	تقلل	
الصفات البدنية	1_ القوة القصوى 2_ القوة الانفجارية 3_ سرعة رد الفعل	1_القوة المميزة بالسرعة 2_ السرعة فوق 5 ثانية	1_تحمل قوة 2_ تحمل سرعة	بذل المجهود البدني لأطول فترة ممكنة لأكبر تكرار ممكن
	طريقة التدريب التكراري	طريقة التدريب التكراري	فتري	المستمر

Scanned with CamScanner

المراجع:

- Levine BD. Cardiovascular adaptations to exercise training. J Appl Physiol. 2021.
- Joyner MJ, Lundby C. Cardiovascular limits to human performance. Annu Rev Physiol. 2022.
- ACSM. Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 11th ed. 2021.
- La Gerche A. Exercise and the right ventricle. Eur Heart J. 2023.
- Frontiers in Physiology – Cardiovascular Section (2024–2025 reviews).

- Bassett DR, Howley ET. Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Applications. 2020.