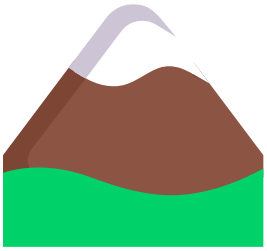
الجامعة المستنصرية

كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

الدراسات العليا / الدكتوراه

# العوامل المؤثرة على التكيف الوظيفي

# ( الظروف البيئية)



أ. د اخلاص حسين  أ. د غصون فاضل

**2025**

# تأثير الارتفاع عن مستوى سطح الأرض على التكيف الوظيفي والفسيولوجي

---

## المقدمة

الارتفاع عن مستوى سطح البحر يُعد من أهم العوامل البيئية التي تؤثر في الأداء البدني والتكيف الفسيولوجي للإنسان.

فعند الصعود إلى المرتفعات (أعلى من 1500 متر فوق سطح البحر)، ينخفض الضغط الجوي وبالتالي تقل نسبة الأوكسجين الجزئية ($PO_2$) في الهواء المستنشق، مما يؤدي إلى نقص الأوكسجين في الدم (Hypoxia) ويحفّز الجسم على مجموعة من التكيفات الفسيولوجية والوظيفية للحفاظ على تزويد الأنسجة بالأوكسجين.

---

## التغيرات الفورية عند الصعود للمرتفعات

عند الانتقال المفاجئ من مستوى البحر إلى المرتفعات العالية، تحدث استجابات حادة تشمل:

| الجهاز | التغير الفوري | الهدف الفسيولوجي |
|---|---|---|
| الجهاز التنفسي | زيادة معدل وعمق التنفس (Hyperventilation) | محاولة تعويض نقص الأوكسجين برفع التهوية |
| الجهاز القلبي الوعائي | زيادة معدل ضربات القلب (HR) والانقباض القلبي | تحسين ضخ الدم لنقل المزيد من الأوكسجين |

| | | |
|---|---|---|
| الدم | انخفاض تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين ($SaO_2$) | يعوّض لاحقاً بزيادة إنتاج كريات الدم الحمراء |
| الجهاز العصبي الذاتي | تنشيط الجهاز الودي (Sympathetic) | لرفع الضغط وتحسين تروية الأنسجة |

هذه التغيرات تحدث خلال الساعات الأولى، وتعد استجابة طارئة لحالة "نقص الأوكسجين" البيئية.

---

## التكيفات المزمنة (بعد أيام إلى أسابيع)

عند البقاء لفترات طويلة في المرتفعات، يبدأ الجسم بعملية التكيف طويل الأمد عبر تغيرات في مكونات الدم والأجهزة الحيوية: .

1 -الدم والأوكسجين

- زيادة إنتاج الإريثروبويتين (EPO) من الكلية، مما يحفّز نخاع العظم لإنتاج كريات دم حمراء جديدة.
- ارتفاع تركيز الهيموغلوبين (Hb) ونسبة الهيماتوكريت (Hct).
- زيادة قدرة الدم على نقل الأوكسجين ($O_2$-carrying capacity).

2 - الجهاز القلبي الوعائي

- زيادة حجم الضربة القلبية (SV) في البداية، ثم يعود طبيعيًا بعد التكيف.
- انخفاض معدل القلب أثناء الراحة بعد التأقلم.
- توسّع الشعيرات الدموية العضلية لتحسين الإمداد بالأوكسجين.

3 -الجهاز التنفسي

- زيادة السعة الحيوية للرئة (VC).
- تحسّن تبادل الغازات في الحويصلات الهوائية.
- انخفاض الحساسية لثاني أوكسيد الكربون بعد التكيف الطويل.

4 - الأنسجة العضلية

- زيادة عدد الميتوكوندريا داخل الألياف العضلية.
- زيادة نشاط الإنزيمات الهوائية (مثل سيتوكروم أوكسيداز).
- تحسن كفاءة استخدام الأوكسجين داخل العضلة.

---

## التأثيرات على الأداء الرياضي

| نوع النشاط | التأثير في المرتفعات | المبرر الفسيولوجي |
|---|---|---|
| الألعاب الهوائية (مثل الجري الطويل) | انخفاض الأداء بنسبة 10–20% | بسبب انخفاض $VO_2max$ ونقص الأوكسجين |
| الألعاب اللاهوائية (مثل السرعة والقوة) | لا تتأثر كثيرًا أو تتحسن أحيانًا | لأن الأداء يعتمد على النظام اللاهوائي وليس الأوكسجين |
| التحمل بعد العودة لمستوى البحر | يتحسن الأداء بوضوح | بسبب زيادة كريات الدم الحمراء والهيموغلوبين |

## التغيرات الهرمونية

- ارتفاع هرمون الإريثروبويتين (EPO) لتحفيز إنتاج كريات الدم.
- زيادة الكورتيزول والأدرينالين كاستجابة للتوتر الفيزيولوجي.
- زيادة هرمون النمو (GH) للمساعدة في التكيف العضلي والتمثيل الغذائي.

---

## المخاطر الفسيولوجية في المرتفعات العالية

1. داء المرتفعات الحاد (Acute Mountain Sickness)
    - أعراض: صداع، دوار، غثيان، قلة النوم.
    - سببها انخفاض الأوكسجين المفاجئ واحتباس السوائل الدماغية.
2. الوذمة الدماغية والرئوية المرتفعة (HACE / HAPE)
    - حالات نادرة وخطيرة تسبب احتباس سوائل في الرئتين أو الدماغ.
3. الإرهاق العضلي الشديد
    - بسبب ضعف تزويد الألياف بالأوكسجين.

---

## التكيفات بعد العودة إلى مستوى البحر

- بعد النزول من المرتفعات، يبقى تركيز الهيموغلوبين مرتفعاً لفترة تصل إلى 2–3 أسابيع.
- يتحسن $VO_2max$ والأداء الهوائي بشكل ملحوظ، خصوصاً لدى العدائين والسباحين.
- ولكن التكيف يزول تدريجيًا بعد شهر من العودة، ما لم يُعاد تحفيزه بالتدريب.

---

## التطبيقات التدريبية الحديثة

1. معسكرات التدريب في المرتفعات (Altitude Camps):

   تُستخدم لتحسين الأداء الهوائي قبل البطولات الكبرى.

2. غرف الارتفاع الصناعي (Hypoxic Chambers):

   تحاكي ظروف الارتفاع لتدريب الرياضيين دون مغادرة موقعهم.

3. التكيف الفردي (Individualized Adaptation):

   تختلف استجابة الأفراد تبعًا لجيناتهم، خاصة الجينات المرتبطة بـ EPO وHIF-1α.

---

نقص الأكسجين وتحديات الارتفاعات الأخرى

خلال الضغط الجوي، التي تتغير بسبب الظروف البيئية، و الأكثر تأثيراً المرتفعات الشاهقة.
يعد نقص الأكسجة ، أو ضعف توصيل الأكسجين إلى الأنسجة المستهدفة، هو سبب رئيسي للعديد من الآثار الضارة للمرتفعات وينتج
عن انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين. نظرًا لأن الأكسجين مهم جدًا للوظيفة الفسيولوجية، يعتقد الكثير، بما في ذلك الرياضيون
والمختصون، أن نقص الأكسجين في المرتفعات هو الذي يتسبب في كل هذه المشاكل. مهما يكن ... هذه ليست الحقيقة!
نسبة الأكسجين (20.93%) ، وكذلك الغازات الأخرى، ثنائي اوكسيد الكاربون ( 0.03% ) و النيتروجين (79.04%) في الهواء هي

نفسها بغض النظر عن الارتفاع داخل الغلاف الجوي للأرض.
ما يختلف هو مقدار الضغط المسلط على جزيئات كل غاز.
فكلما زاد الارتفاع، انخفض الضغط الجوي (ملم زئبق)، ويلعب هذا الضغط دورًا رئيسيًا في قدرة الجسم على إيصال الأكسجين إلى
الأنسجة. يتم حساب ضغط الأكسجين، أو الضغط الجزئي للأكسجين (2PO) ، بضرب الضغط الجوي في النسبة المئوية للأكسجين في
الهواء انظر الفصل (6). هذا يعني أن توفر الأكسجين ينخفض كلما زاد الارتفاع. يمكن للمرء بعد ذلك أن يفهم بسهولة أن الضغط
الجوي
عند مستوى سطح البحر بمقدار 760 ملم زئبق سيخلق ضغطًا جزئيًا أعلى بكثير للأكسجين من الضغط الجوي البالغ 596 ملم زئبق فيضع الارتفاع المتزايد ضغطاً ملحوظًا على الجسم، وبشكل مباشر على القدرة على إيصال الأكسجين إلى أنسجة الجسم. وبالتالي، فإن
انخفاض الضغط الجوي عند الارتفاعات يخلق بيئة خافضة للضغط، ويقلل انخفاض 2PO من فعالية نقل الغاز من الانتشار الرئوي
للأكسجين من الرئتين إلى الدم ثم إلى الأنسجة المستهدفة في الجسم. هذه الكمية المنخفضة من الأكسجين إلى أنسجة الجسم تخلق ما يسمى
"تأثير نقص الأوكسجين".

التهوية الرئوية
أثناء التمرين على المرتفعات، تزداد التهوية الرئوية (E) استجابة للحاجة إلى زيادة تشبع الشرايين بالأكسجين في الدم. لا تزيد التهوية
أثناء الراحة حتى يصل المرء إلى حوالي 10,000 قدم أو 3,048 مترا الشكل (10-10) لتعويض الانخفاض في 2PO ، تتغير
التهوية الرئوية استجابة لضغط الارتفاع.
وعند الراحة، بشكل عام هناك زيادة في حجم الهواء والمعروف بالحجم المدي، أو عمق التنفس، وليس زيادة في معدل التنفس، ومع
التمرين، قد يزداد كل من الحجم والمعدل لتسهيل توفر أكبر للأكسجين. ولكن في أقصى قدر من التمرين، تكون التهوية في المرتفعات
مشابهة لتلك الموجودة على مستوى سطح البحر.
من الواضح أن هناك حدًا أعلى للتهوية الرئوية أثناء تمرين الشدة القصوى، بغض النظر عما إذا كان يتم إجراؤها على مستوى سطح
البحر أو على المرتفعات. ومع ذلك ، في المرتفعات يصبح الجسم أكثر قلوية ، حيث تؤدي الزيادة في التنفس إلى المزيد من إزالة ثاني
أكسيد الكربون ، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحموضة في الدم فوق 7.4 . مع مرور الوقت ، تساعد الكلى على استعادة التحكم في

الاستتباب عن طريق زيادة إفراز البيكربونات المخزن المؤقت الحمضي ، مما يسمح ببقاء المزيد من الحمض في الدم ، بحيث يساعد في
تحييد المواد القلوية ، مما يؤدي إلى عودة الدم إلى المعدل الطبيعي pH من 7.3 إلى 7.4

الأيض، الهيموغلوبين، والهيماتوكريت

من بين التغييرات الملحوظة عند التعرض للارتفاعات زيادة في تركيزات الهيموجلوبين و الهيماتوكريت في الدم. يحدث هذا بشكل حاد
بسبب الجفاف وما يترتب على ذلك من انخفاض في حجم بلازما الدم. ومع ذلك ، مع التعرض المزمن ، في أقل من 3 أسابيع ، يزداد
إنتاج خلايا الدم الحمراء بواسطة نخاع العظم ، ويعزى ذلك بشكل أساسي إلى الارتفاع في الهيموغلوبين والهيماتوكريت التي تشكل
جزءًا من عملية التأقلم انظر الإطار (7-10). مع التعرض الحاد للارتفاعات ، يبدو أيضًا أن هناك اعتمادًا أكبر على تمثيل
الكربوهيدرات، مما يؤدي إلى ارتفاع تركيزات اللاكتات في الدم. يمكن تفسير ذلك بشكل أساسي من خلال استجابة الكاتيكولامين الأكبر
للارتفاع ، وبشكل أكثر تحديدًا ، الإيبينيفرين ، الذي يعزز استخدام الجليكوجين. ومع ذلك ، في الارتفاعات المعتدلة ،
وبشكل أكثر تحديدًا ، الإيبينيفرين ، الذي يعزز استخدام الجليكوجين. ومع ذلك ، في الارتفاعات المعتدلة ، يعتمد الأشخاص
المتأقلمون بشكل أكبر على التمثيل الغذائي للدهون اثناء ممارسة تمارين بشدة دون الحد الأقصى من أولئك الذين لم يتأقلموا .
وتظهر الاستجابات الأساسية الحادة لنقص الأكسجة على المرتفعات وكما يلي:
1. زيادة معدل ضربات القلب والتهوية استجابةً لانخفاض 2PO المستشعرة بالمستقبلات الكيميائية.
2. الحفاظ على الانتشار الرئوي.
3. يتم تقليل نقل الأكسجين بسبب انخفاض تشبع الهيموجلوبين بالأكسجين.
4. يزداد حجم المد والجزر التنفسي عند الراحة ويزيد معدل التنفس مع النشاط والارتفاعات العالية
5. تؤدي زيادة التنفس إلى خفض 2PCO في الدم وزيادة درجة الحموضة في الدم إلى ما يزيد عن 7,4
6. ينتج عن هذا الرقم الهيدروجيني المتزايد قلاء تنفسي، مما يؤدي إلى تحول منحنى تشبع الأكسجين الهيموغلوبين إلى اليسار ويساعد على منع التهوية من تجاوز الحدود المسموح بها.
7. إن إزاحة منحنى تشبع الأكسجين الهيموغلوبين إلى اليسار، مما يسمح بقدر أكبر من الارتباط بالأكسجين بالهيموغلوبين للمساعدة في تعويض انخفاض 2PO
8. في البداية، تعوض الزيادات في معدل ضربات القلب عن انخفاض حجم الضربة وهناك اعتماد أكبر على تحلل السكراللاهوائي في أعباء العمل دون الحد الأقصى.

9. بالمقارنة مع مستوى سطح البحر ، تؤدي ممارسة التمارين الرياضية القصوى في المرتفعات إلى انخفاض حجم الضربة ومعدل ضربات القلب ، مما يؤدي إلى انخفاض النتاج القلبي واستهلاك الأكسجين

## الخاتمة

إن الارتفاع عن سطح البحر يُحدث سلسلة من التحديات البيئية تدفع الجسم إلى تكيفات فسيولوجية عميقة تشمل الدم، القلب، العضلات، والتنفس.

وتُعد هذه التغيرات مفيدة إذا تم التحكم فيها تدريبيًا، لكنها قد تكون خطيرة في حال التعرض المفاجئ أو المفرط.

لذلك يجب تصميم برامج تدريبية تدريجية مع مراقبة المؤشرات الحيوية لضمان الاستفادة القصوى من التأقلم دون مخاطر صحية.

# تأثير الحرارة والبرودة على التكيف الوظيفي والفسيولوجي

---

## المقدمة

تُعد درجات الحرارة من أهم العوامل البيئية التي تؤثر في الأداء البدني والتكيف الفسيولوجي للجسم أثناء النشاط الرياضي.

فالحرارة المفرطة أو البرودة الشديدة تمثلان تحديًا كبيرًا للجهاز العصبي والدوراني والتنظيم الحراري، مما يستدعي سلسلة من التكيفات الوظيفية للحفاظ على التوازن الداخلي (Homeostasis) وضمان استمرار الأداء بكفاءة.

البيئة الحارة تؤدي إلى زيادة الحمل الحراري على الجسم، في حين أن البيئة الباردة تتطلب الحفاظ على حرارة الجسم الداخلية.

كلا الحالتين تتطلب آليات فسيولوجية متخصصة للتأقلم.

---

التنظيم الحراري للجسم (Thermoregulation)

- الهيبوثالاموس (Hypothalamus) هو المركز الرئيسي لتنظيم الحرارة.
- درجة الحرارة الطبيعية للجسم: حوالي 37°C ± 0.5.
- عندما يتعرض الجسم لتغير في درجة الحرارة، يقوم الهيبوثالاموس بتنشيط آليات للحفاظ على الاتزان:

| حالة الجسم | الآليات الفسيولوجية للتنظيم |
| --- | --- |
| ارتفاع الحرارة | التعرق، توسع الأوعية الدموية الجلدية، انخفاض النشاط العضلي |
| انخفاض الحرارة | القشعريرة، تضيق الأوعية الدموية الجلدية، زيادة معدل الأيض |

---

تأثير الحرارة على التكيف الوظيفي

- **1** التغيرات الفسيولوجية في البيئة الحارة

| الجهاز | التغير الفسيولوجي | الغرض الوظيفي |
|---|---|---|
| الجهاز القلبي الوعائي | زيادة معدل ضربات القلب (HR) – انخفاض حجم الضربة القلبية (SV) | الحفاظ على ضغط الدم وتبريد الجسم |
| الجهاز التنفسي | زيادة معدل التنفس (Hyperventilation) | التخلص من الحرارة الزائدة وتبريد الدم |
| الجهاز العصبي | تنشيط المستقبلات الحرارية – زيادة إفراز العرق | تنظيم درجة حرارة الجلد |
| الدم | نقص حجم البلازما نتيجة التعرق الشديد | يؤدي إلى زيادة لزوجة الدم وتأثير على الأداء |

---

- 2آليات التكيف في البيئة الحارة (**Heat Acclimatization**)

عند التعرض المستمر للحرارة (خلال 7–14 يومًا من التدريب)، تحدث التكيفات التالية:

- زيادة كفاءة الغدد العرقية (يبدأ التعرق مبكرًا وبكمية أكبر).
- زيادة حجم البلازما في الدم.

- انخفاض معدل ضربات القلب عند نفس الشدة التدريبية.
- زيادة تدفق الدم للجلد دون التأثير على العضلات العاملة.
- تحسن قدرة الجسم على الحفاظ على الشوارد (الصوديوم والبوتاسيوم).
- تقليل الإجهاد الحراري وتحسين الأداء في الأجواء الحارة.

---

3- الأداء الرياضي في الحرارة

- في الأجواء الحارة، يقل الأداء في التمارين الهوائية بنسبة 10–20% بسبب زيادة درجة حرارة الجسم وارتفاع الجهد القلبي.
- التدريب في الحرارة يؤدي إلى زيادة إفراز الهرمونات المنظمة للسوائل مثل:
  - الألدوستيرون (Aldosterone)
  - الهرمون المضاد لإدرار البول (ADH)

  وكلاهما يساعدان في الحفاظ على حجم الدم ومنع الجفاف.

---

## تأثير البرودة على التكيف الوظيفي

1 -التغيرات الفسيولوجية في البيئة الباردة

| الجهاز | التغير الفسيولوجي | الغرض الوظيفي |
|---|---|---|
| الجهاز العصبي | تنشيط الجهاز الودي (Sympathetic) لرفع معدل الأيض | إنتاج حرارة إضافية |
| الأوعية الدموية | تضيق الأوعية في الجلد والأطراف | تقليل فقدان الحرارة |
| العضلات | انخفاض المرونة العضلية – بطء في الانقباضات | تقليل كفاءة الأداء |
| التنفس | الهواء البارد الجاف يسبب تهيج المجاري التنفسية | زيادة الجهد التنفسي |

---

## 2 - آليات التكيف في البيئة الباردة ((**Cold Acclimatization**

عند التعرض المتكرر للبرودة، تحدث التغيرات التالية:

- زيادة نشاط العضلات البنية (Brown Fat) لإنتاج الحرارة.
- تحسين التروية الدموية للعضلات الطرفية.

- انخفاض استجابة الارتعاش (Shivering) لأن الجسم يصبح أكثر كفاءة في الحفاظ على الحرارة.
- تحسن التحكم الوعائي، مما يسمح بتدفئة الأعضاء الحيوية أولاً.
- ارتفاع معدل الأيض الأساسي (BMR) للحفاظ على درجة حرارة الجسم.

---

## 3 -الأداء الرياضي في البرودة

- التمارين القصيرة والقوية قد تتحسن بسبب انخفاض الجهد الحراري.
- التمارين الهوائية الطويلة تتأثر سلبًا بسبب صعوبة التنفس وانخفاض كفاءة الأوكسجين.
- الملابس والعزل الحراري يلعبان دورًا مهمًا في التوازن الحراري.
- التدريب في البرودة يزيد من إفراز الكاتيكولامينات (الأدرينالين والنورأدرينالين) مما يرفع الطاقة ويعزز التحمل.

---

المقارنة بين التكيف في الحرارة والبرودة

| العامل | التكيف في الحرارة | التكيف في البرودة |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| استجابة القلب | زيادة HR ثم انخفاض تدريجي مع التكيف | زيادة بسيطة في HR للحفاظ على الحرارة |
| حجم البلازما | يزداد للحفاظ على تدفق الدم | لا يتغير أو يقل قليلاً |
| الأوعية الدموية | توسع سطحية لتبريد الجسم | تضيق سطحية لتقليل الفقد |
| التعرق | يزداد ويصبح مبكرًا وأكثر كفاءة | يقل أو يتوقف |
| الهرمونات | زيادة الألدوستيرون وADH | زيادة الأدرينالين والنورأدرينالين |
| الأيض | ينخفض للحفاظ على السوائل | يرتفع لإنتاج الحرارة |

---

التغيرات الهرمونية العامة

| الهرمون | بيئة الحرارة | بيئة البرودة |
|---|---|---|
| الألدوستيرون | ↑مرتفع | طبيعي |

| | | |
|---|---|---|
| ADH | ↑مرتفع | طبيعي |
| الكورتيزول | ↑في الإجهاد الحراري | ↑بسيط لتحفيز الأيض |
| الأدرينالين | ↑عند الإجهاد الحراري | ↑لتحفيز إنتاج الحرارة |
| هرمون النمو (GH) | ↑لتحفيز التجدد والتعويض | ↑لتحفيز الطاقة العضلية |

---

التطبيقات التدريبية العملية

1. التدريب الحراري (Heat Training):
   - يُستخدم لتحسين الأداء في المناطق الحارة أو قبل البطولات الصيفية.
   - يجب أن يكون تدريجيًا ومدروسًا (بدءًا من 20 دقيقة حتى 90 دقيقة يوميًا).
2. التدريب البارد (Cold Exposure Training):
   - يُستخدم لرفع مقاومة الجسم للبرد وتحسين استجابة الجهاز العصبي.
   - يعتمد على فترات تعرض قصيرة ومتكررة.
3. مراقبة التوازن المائي:

- ضرورة قياس الوزن قبل وبعد التدريب لمتابعة الفقد المائي.
- تعويض السوائل بالأملاح (الصوديوم والبوتاسيوم).

---

المخاطر والاحتياطات

- في الحرارة:
  - الجفاف، ضربة الشمس، الانهاك الحراري.
- في البرودة:
  - انخفاض حرارة الجسم (Hypothermia)، قضمة الصقيع (Frostbite).

يجب مراقبة درجة الحرارة الأساسية (Core Temperature) باستمرار، خاصة في الرياضيين المحترفين أو في الظروف البيئية القاسية.

---

تاسعاً: الخاتمة

تؤثر الحرارة والبرودة بشكل مباشر على الأداء البدني والوظائف الفسيولوجية.

التكيف التدريبي في هاتين البيئتين يعتمد على قدرة الجسم على التنظيم الحراري والتعويض الأيضي.

التدريب المستمر في الظروف البيئية المختلفة يساهم في رفع كفاءة الجسم وتحسين مقاومته للتغيرات البيئية، مما يُعد جزءًا أساسيًا من فسيولوجيا التكيف الرياضي الحديث

---

# التدريب المدمج بين الحرارة والبرودة وتأثيره على التكيف الوظيفي

التدريب في ظروف الحرارة والبرودة معًا (Mixed Environmental Training) يُعد من أحدث الاتجاهات في فسيولوجيا التكيف البيئي، ويهدف إلى تحفيز الجهاز الحراري والقلبي العضلي معًا بطريقة متوازنة

---

المفهوم العلمي للتدريب المزدوج

هو نظام تدريب يتضمن تعرض الجسم بشكل متناوب أو متتابع لبيئتين حراريتين متعاكستين:

- البيئة الحارة (Hot exposure): تُحفّز آليات التبريد والتعرق وتوسع الأوعية.
- البيئة الباردة (Cold exposure): تُحفّز إنتاج الحرارة والأيض، وتزيد من نشاط الجهاز العصبي الودي.

ويُستخدم هذا النوع من التدريب لتحسين قدرة الجسم على التكيف مع الإجهادات الحرارية المتنوعة، وتعزيز الأداء البدني والمناعي.

---

الآلية الفسيولوجية العامة

عند الجمع بين التعرض للحرارة والبرودة:

- يتعرض الهيبوثالاموس (مركز التنظيم الحراري) لتحفيز مزدوج يعزز من كفاءة نظام التنظيم الحراري.
- يحدث تنشيط متبادل للجهازين العصبي الودي والجارودي ( Sympathetic & Parasympathetic) مما يحسن المرونة العصبية الفسيولوجية (Autonomic Flexibility).
- تتحسن قدرة الجسم على التحول السريع بين آليات حفظ الحرارة وفقدها.

---

التأثيرات الفسيولوجية الإيجابية للتدريب المزدوج

1. تحسين الدورة الدموية الطرفية

- التعرض المتناوب للحرارة والبرودة يحفّز تمدد الأوعية ثم انقباضها، مما:
  - يحسن مرونة الجدران الوعائية.
  - يرفع كفاءة تبادل الحرارة بين الجلد والدم.
  - يعزز عودة الدم الوريدي للقلب.

**2.**تنشيط آليات التنظيم الحراري

- يصبح الجسم أكثر كفاءة في التعرق والتبخر عند الحرارة.
- وتزداد قدرته على توليد الحرارة الذاتية (Thermogenesis) عند البرودة.

**3.**توازن الجهاز العصبي الذاتي

- التدريب الحراري ينشّط الجهاز الودي.
- التدريب البارد يعزز الجهاز الجارودي.
- الجمع بينهما يُحدث توازناً عصبيًا يؤدي إلى تحسن ضربات القلب، الضغط الدموي، والراحة الفسيولوجية.

**4.**تحسين التكيف العضلي والدموي

- زيادة عدد الشعيرات الدموية داخل العضلة.
- زيادة كفاءة الميتوكوندريا في إنتاج الطاقة.
- تحسن سرعة التخلص من نواتج الأيض مثل اللاكتات.

---

التأثيرات الهرمونية

| الهرمون | التأثير عند التعرض للحرارة | التأثير عند التعرض للبرودة | التأثير في التدريب المزدوج |
|---|---|---|---|
| الأدرينالين | ↑لرفع تدفق الدم والتعرق | ↑لتحفيز الأيض وإنتاج الطاقة | ↑↑تنشيط مزدوج يحسن التحمل |
| الكورتيزول | ↑في الإجهاد الحراري | ↑بسيط لتحفيز الطاقة | يعود بسرعة للمستوى الطبيعي (توازن هرموني) |
| هرمون النمو GH | ↑لتحفيز التعويض العضلي | ↑لتحفيز إنتاج البروتين | ↑↑تعزيز الترميم العضلي |
| الإريثروبويتين EPO | ↑بسبب نقص الأوكسجين النسبي | طبيعي | ↑طفيف يحفّز إنتاج كريات الدم الحمراء |

---

التطبيقات التدريبية

1. النمط المتناوب (Contrast Training):

- تدريب في الحرارة (30–35°C) لمدة 30 دقيقة.
- يليه تعرض للبرودة (10–15°C) لمدة 10 دقائق.
- الهدف: تحفيز التنظيم الحراري وتسريع الاستشفاء العضلي.

2. النمط الأسبوعي المتباين (Alternating Days):

- أيام تدريب حراري لرفع كفاءة القلب والتعرق.
- وأيام تدريب بارد لتحسين استجابة الأيض والهرمونات.

3. العلاج المائي الحراري (Contrast Water Therapy):
(التناوب بين الماء الساخن والبارد) يُعد من التقنيات العلاجية الحديثة في الطب الرياضي والتهيئة البدنية والعلاجية والتأهيل والوقاية

- يقوم العلاج على التناوب بين الغمر في ماء ساخن (حوالي 38–42°C) وماء بارد (حوالي 10–15°C)، مما يؤدي إلى تمدد الأوعية الدموية ثم انقباضها بشكل متتابع.
- يُستخدم لتقليل الالتهاب العضلي بعد الجهد وتحسين الدورة الدموية.
- هذا التباين الحراري يعمل كـ مضخة وعائية (Vascular Pump) تساعد على تحفيز الدورة الدموية وإزالة نواتج الأيض من العضلات، وتخفيف الالتهاب.

---

جدول يوضح زمن التعرض حسب الهدف منه

| الهدف | درجة حرارة الماء الساخن | درجة حرارة الماء البارد | زمن التعرض في كل مرحلة | عدد الدورات | المدة الكلية | الملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| العلاج بعد الإصابة (Rehabilitation) | 38–40°C | 10–12°C | 3–4 دقائق ساخن + 1 دقيقة بارد | 4–5 مرات | 20–25 دقيقة | يستخدم بعد المرحلة الحادة من الإصابة لتقليل التورم وتحفيز الشفاء |
| الاستشفاء بعد التدريب (Recovery) | 39–41°C | 12–15°C | 3 دقائق ساخن + 1 دقيقة بارد | 3–4 مرات | 15–20 دقيقة | يُجرى بعد التمرين الشديد أو المنافسة لتقليل آلام العضلات |
| الوقاية والتحضير العضلي | 38–40°C | 14–16°C | 2 دقيقة ساخن + | 2–3 مرات | 10–12 دقيقة | يفضل قبل التمرين أو المباريات |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Preve)<br>ntion/<br>Warm-<br>(up | | | 30 ثانية<br>بارد | | | لتحفيز تدفق الدم وتنشيط الأعصاب |
| زيادة المناعة العامة<br>Adapt)<br>ation/H<br>ardenin<br>(g | 40–<br>42°C | 8–<br>10°C | 3–2<br>دقائق ساخن +<br>1 دقيقة بارد | 5–3<br>مرات | 20–15<br>دقيقة | يُطبق مرتين أسبوعيًا لتحفيز الجهاز العصبي الذاتي والمناعي |

---

🔬

ثالثاً: الآلية الفسيولوجية

1. الماء الساخن:

- يسبب توسع الأوعية الدموية وزيادة تدفق الدم.
- يقلل التوتر العضلي ويزيد المرونة.
- يعزز خروج نواتج الأيض (مثل اللاكتات).

2. الماء البارد:

- يسبب انقباض الأوعية وتقليل الالتهاب.
- يخفض التورم الناتج عن المجهود أو الإصابة.
- ينشّط الجهاز العصبي الودي ويرفع التركيز.

3. التناوب الحراري:
   - يعمل كتحفيز دوري لتدفق الدم واللمف.
   - يُسرّع عملية التعافي العضلي والمفصلي.
   - يُوازن بين التحفيز العصبي والتثبيط الالتهابي.

---

الاحتياطات

- يجب أن يبدأ الرياضي بالماء الساخن وينتهي بالبارد.
- لا يُستخدم في حالة الالتهابات الحادة أو الجروح المفتوحة.
- لا يُنصح به لمن يعانون من أمراض قلبية أو ضغط دم غير مستقر.
- يُفضل وجود اختصاصي علاج طبيعي أو طبيب رياضي أثناء التطبيق.

---

التأثير على الأداء الرياضي

| نوع النشاط | التأثير المتوقع من التدريب المزدوج | السبب الفسيولوجي |
|---|---|---|
| التحمل الهوائي (Endurance) | ↑تحسين قدرة الجسم على تبريد نفسه في الحرارة | زيادة حجم البلازما وتنظيم الحرارة |

| | | |
|---|---|---|
| القوة والسرعة (Power) | ↑تحسين التعافي العضلي بعد التدريب | تحفيز الدورة الدموية وتقليل الالتهاب |
| المرونة العصبية (Neuromotor) | ↑استقرار الإشارات العصبية والتوازن | تفاعل الودي والجارودي |
| المناعة | ↑تعزيز كريات الدم البيضاء ومضادات الأكسدة | تكرار الإجهاد الحراري والبرودي المعتدل |

---

الاحتياطات

- يجب أن يتم التدريب المزدوج تدريجيًا لتفادي الصدمة الحرارية.
- تجنب الجمع في نفس الجلسة لأكثر من 45 دقيقة.
- ضرورة الترطيب الكافي قبل وبعد التدريب.
- يفضّل المراقبة الطبية للرياضيين ذوي أمراض القلب أو الضغط.

---

الخاتمة

إن التدريب في بيئات متعاكسة حراريًا (الحرارة والبرودة) يُعد وسيلة فعالة لرفع كفاءة التنظيم الحراري والوظائف القلبية والعضلية.

يؤدي إلى تحسين التحمل، تسريع الاستشفاء، وتنشيط المناعة.

ويُعتبر من أبرز استراتيجيات التدريب الحديثة التي تعتمد على تحفيز التكيف المزدوج (Dual Adaptation)، حيث يتعلم الجسم التعامل مع أقصى التغيرات البيئية بكفاءة عالية.

---

المراجع العلمية


1. Racinais, S., & Périard, J. D. (2020). Physiological adaptations to heat and cold exposure: Mechanisms and applications. Frontiers in Physiology, 11, 558.

2. Ihsan, M., et al. (2016). Post-exercise cold water immersion: Applications for recovery and training adaptation. Sports Medicine, 46(8), 1049–1065.

3. Daanen, H. A. M., et al. (2018). Heat and cold acclimation in humans: Mechanisms and methods. Frontiers in Physiology, 9, 1658.

4. Tipton, M. J., & Bradford, C. (2014). Responses and limitations to cold and heat exposure in humans. Experimental Physiology, 99(3), 358–369.

5. Périard, J. D., et al. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and recreational exercise. Frontiers in

Physiology, 6, 1–16.

.1 Sawka, M. N., & Pandolf, K. B. (2001). Physical exercise in hot climates: Physiology and performance. Comprehensive Physiology, 11(1), 50–78.

.2 Cheung, S. S. (2010). Advanced environmental exercise physiology. Human Kinetics Publishing.

.3 Gagge, A. P., & Gonzalez, R. R. (1996). Mechanisms of heat exchange: Physiology of temperature regulation. Annual Review of Physiology, 58, 349–357.

.4 Castellani, J. W., & Tipton, M. J. (2015). Cold stress effects on human performance. Comprehensive Physiology, 6(1), 443–469.

.5 Racinais, S., et al. (2015). Heat acclimation and performance. Frontiers in Physiology, 6, 1–14.

.6 Kenney, W. L., et al. (2014). Physiology of sport and exercise. Human Kinetics, 6th Edition.

.1 Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (2005). Altitude training and athletic performance. Journal of Applied Physiology, 99(5), 2053–2058.

.2 Lundby, C., & Robach, P. (2016). Performance enhancement: What are the physiological limits?. Physiology (Bethesda), 31(4), 303–315.

3. Gore, C. J., & Hopkins, W. G. (2005). Counterpoint: Positive effects of intermittent hypoxia (live high: train low) on exercise performance are not mediated primarily by increased red cell mass. Journal of Applied Physiology, 99(5), 2055–2057.

4. Wilber, R. L. (2007). Altitude training and athletic performance. Human Kinetics Publishing.

5. Chapman, R. F., et al. (2014). Altitude training considerations for the winter sport athlete. Experimental Physiology, 99(3), 409–414.

6. Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, 32(1), 70–84.

7. Vaile, J. M., et al. (2008). Effect of contrast water therapy on recovery following intermittent sprint exercise. Journal of Strength and Conditioning Research, 22(5), 1537–1546.

8. Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological response to water immersion: A method for sport recovery? Sports Medicine, 36(9), 747–765.

9. Leeder, J., et al. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: A meta-analysis. British Journal of Sports Medicine, 46(4), 233–240.

10. Ihsan, M., Watson, G., & Abbiss, C. R. (2016). What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged

endurance and intermittent exercise? Sports Medicine, 46(8), 1095–1109