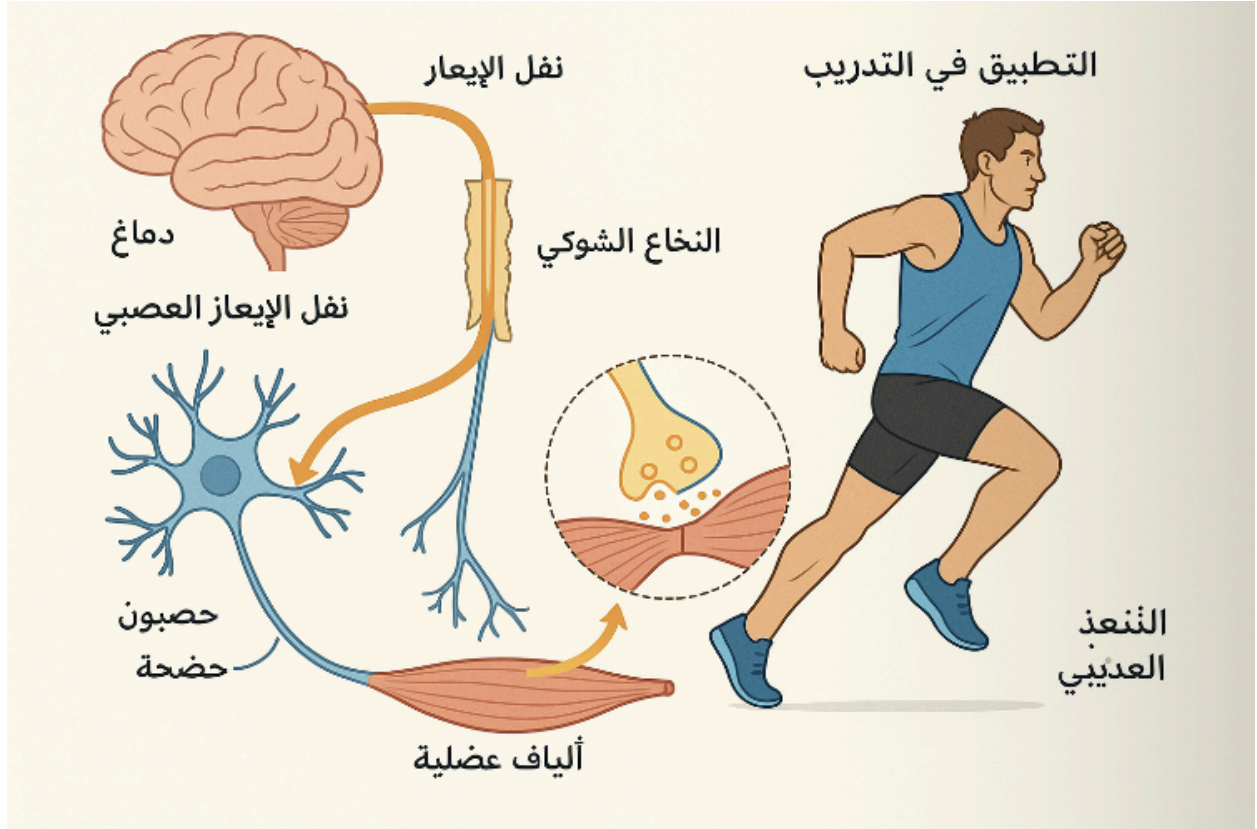


## الاستجابة العصبية والتكيفات المزمنة مع التدريب الرياضي



أ. د غصون فاضل

أ. د اخلاص حسين

2025

الجهاز العصبي يُعتبر المنسق الأساسي بين مختلف أجهزة الجسم أثناء التمرين، حيث يضمن التوازن بين الحاجة المتزايدة للأوكسجين والطاقة في العضلات وبين الحفاظ على الاستتباب الداخلي (Homeostasis).

## مكونات الجهاز العصبي

### أولاً: الجهاز العصبي (Nervous System)

ينقسم الجهاز العصبي إلى قسمين رئيسيين:

#### 1- الجهاز العصبي المركزي (CNS – Central Nervous System):

##### ● الدماغ (Brain):

- المخ (Cerebrum): مركز التفكير، الذاكرة، الحركة الإرادية.
- المخيخ (Cerebellum): التنسيق الحركي والتوازن.
- جذع الدماغ (Brainstem): التنفس، معدل ضربات القلب، الوعي.

##### ● النخاع الشوكي (Spinal Cord):

- نقل الإشارات العصبية بين الدماغ وبقية الجسم.
- مراكز المنعكسات (Reflex Centers).

#### 2- الجهاز العصبي الطرفي (PNS – Peripheral Nervous System):

- الأعصاب القحفية (Cranial Nerves): 12 زوجًا، تتحكم في الحواس والحركة في الرأس والرقبة.
- الأعصاب الشوكية (Spinal Nerves): 31 زوجًا، تنقل الإشارات بين النخاع الشوكي والجسم.

#### 3- الجهاز العصبي الذاتي (Autonomic Nervous System – ANS):

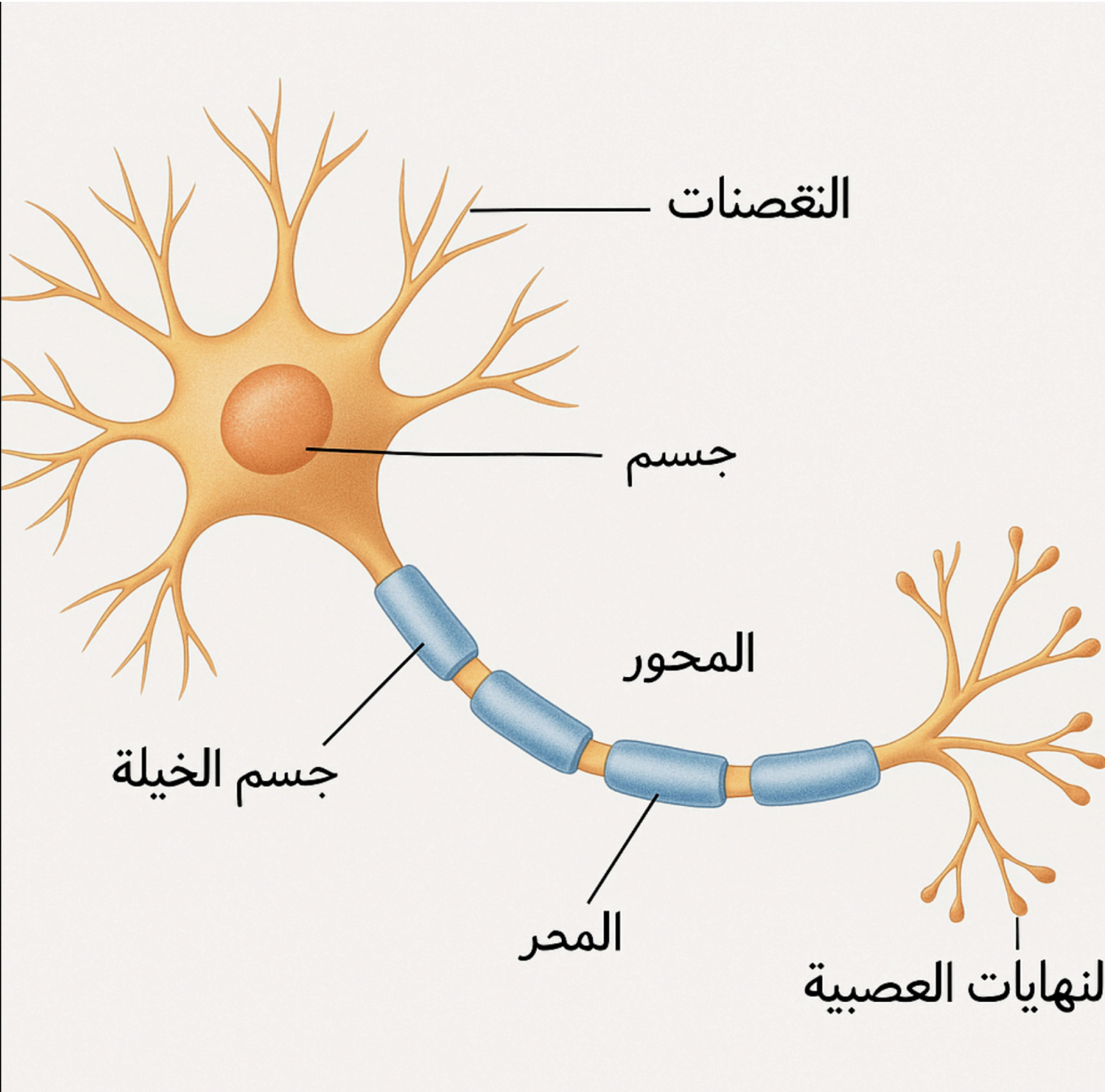
- الودي (Sympathetic): استجابة الطوارئ "القتال أو الهروب" (HR ↑، ضغط الدم ↑).
  - اللاودي (Parasympathetic): استجابة الراحة والهضم (HR ↓، الهضم ↑).
- 

## ثانياً: النسيج العصبي (Nervous Tissue)

النسيج العصبي يتكون من خليتين أساسيتين:

### 1- الخلايا العصبية (Neurons):

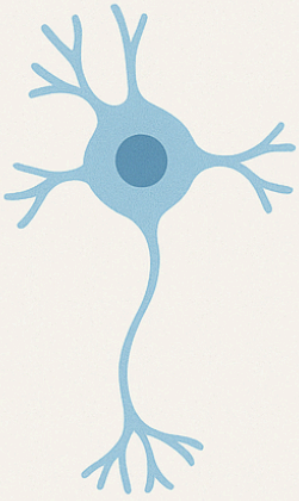
- وظيفتها: نقل الإشارات العصبية (السيالات الكهربائية).
- مكوناتها:
  - جسم الخلية (Cell Body / Soma): يحتوي النواة والعضيات.
  - التغصنات (Dendrites): تستقبل الإشارات من الخلايا الأخرى.
  - المحور العصبي (Axon): ينقل السيالة بعيداً عن جسم الخلية.
  - النهايات العصبية (Axon Terminals): تطلق الناقلات العصبية إلى الخلية التالية



● أنواع العصبونات:

- حسية (Sensory Neurons): تنقل المعلومات من المستقبلات الحسية إلى CNS.
- حركية (Motor Neurons): تنقل الأوامر من CNS إلى العضلات والغدد.
- بينية (Interneurons): تربط بين العصبونات داخل CNS.

# العصبونات



عصبون عصبوني



عصبون بيني



عصبون حركي

## 2-الخلايا الداعمة (Glial Cells):

### ● في الجهاز العصبي المركزي (CNS):

- الخلايا الدبقية النجمية (Astrocytes): تغذية ودعم العصبونات، تكوين الحاجز الدموي الدماغي.
- الخلايا قليلة التغصن (Oligodendrocytes): تكوين غمد الميالين في CNS.
- الخلايا الدبقية الصغيرة (Microglia): مناعة وحماية من العدوى.

- الخلايا البطنية (Ependymal Cells): تبطن البطينات الدماغية وتنتج السائل الدماغي الشوكي (CSF).
- في الجهاز العصبي الطرفي (PNS):
  - خلايا شوان (Schwann Cells): تكوين غمد الميالين في PNS.
  - الخلايا الساتلية (Satellite Cells): دعم وتغذية أجسام الخلايا العصبية في العقد العصبية.

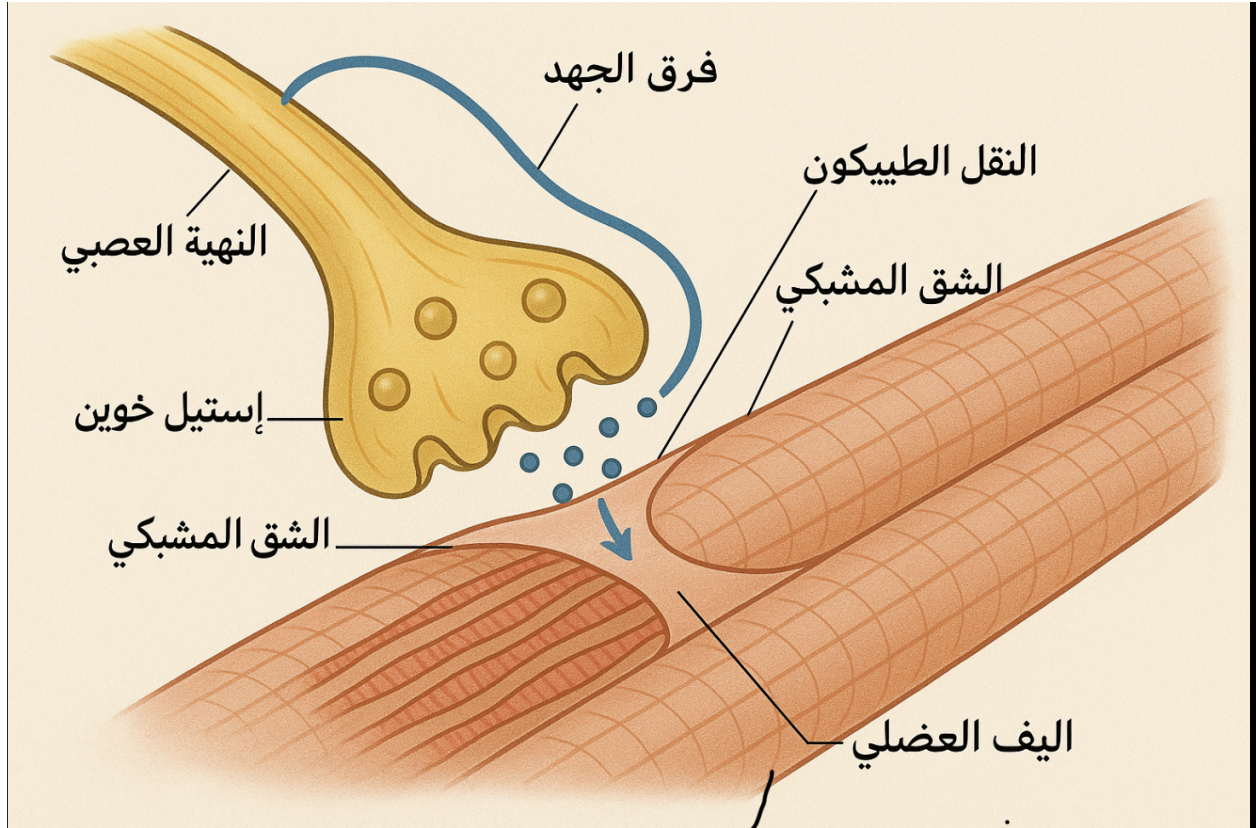
الخلايا العصبية	الخلايا الداعمة
	
نقل الإشارات العصبية	دعم عصبونات وحمايتها
جسم الخلية - المحور التغصنات	أنواع متعددة

## خواص النسيج العصبي

1. الاستثارة (Excitability): القدرة على استقبال المحفزات.

2. التوصيل (Conductivity): نقل السيالة العصبية.

3. التأثير الكيميائي: عبر النواقل العصبية (مثل الأستيل كولين، الدوبامين، السيروتونين).



1 وصول جهد الفعل → عندما يصل جهد الفعل إلى النهاية قبل المشبك.

2 فتح قنوات الكالسيوم → دخول أيونات  $Ca^{2+}$  إلى النهاية العصبية.

3 اندماج الحويصلات → الحويصلات المليئة بالنواقل العصبية (مثل الأستيل كولين أو الدوبامين) تندمج مع الغشاء.

4] انتشار النواقل العصبية → تتحرر النواقل إلى الشق المشبكي (المسافة بين الخليتين العصبيتين).

5] الارتباط بالمستقبلات → ترتبط النواقل العصبية بالمستقبلات على الغشاء بعد المشبكي.

6] فتح القنوات الأيونية → يسبب ذلك دخول أو خروج أيونات ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) مما يولد استجابة (إزالة استقطاب EPSP أو فرط استقطاب IPSP).

7] إنهاء الإشارة → يتم إزالة النواقل إما عبر الإنزيمات (مثل AChE) أو عبر إعادة الامتصاص في النهاية قبل المشبك

تُقسم التغيرات العصبية إلى:

1. استجابات عصبية حادة (Acute Neural Responses): تحدث مباشرة أثناء التمرين.

2. تكيفات عصبية مزمنة (Chronic Neural Adaptations): تتطور على مدى أسابيع أو أشهر من التدريب.

---

أولاً: الاستجابات العصبية الحادة أثناء التمرين.

1 - الجهاز العصبي الذاتي (Autonomic Nervous System):

● الودي (Sympathetic): ↑ معدل ضربات القلب، ↑ قوة الانقباض، ↑ ضغط الدم، ↑ التنفس.

● اللاودي (Parasympathetic): ↓ نشاطه بشكل مؤقت للسماح بالاستجابة الودية.

2 - التحكم الحركي (Motor Control):

● زيادة تجنيد الوحدات الحركية (Motor Unit Recruitment).

● زيادة معدل إطلاق العصبونات الحركية (Firing Rate).

● تحسين التزامن بين الألياف العضلية.

3- الاستجابة العصبية المركزية (Central Command):

● إشارات من القشرة الحركية تحفز الجهاز العصبي الودي قبل بداية التمرين (Feedforward

.(Mechanism

● تنسيق بين الجهاز العصبي المركزي والتنفس والدورة الدموية.

### الاستجابات العصبية الفورية أثناء الجهد :

- 1-زيادة سرعة التوصيل العصبي بسبب ارتفاع إثارة الألياف العصبية.
- 2-تجنيد الوحدات الحركية حسب شدة الحمل (مبدأ الحجم: أولاً الألياف الصغيرة ثم الكبيرة).
- 3-ارتفاع معدل الإطلاق العصبي (Firing Rate) → زيادة قوة الانقباض.
- 4-تحسين التأزر بين العضلات (Co-activation of Agonist & Antagonist).
- 5-استجابة الجهاز العصبي الذاتي:
- 6-تنشيط الجهاز العصبي الودي → زيادة معدل ضربات القلب، ضغط الدم، ضخ الدم للعضلات.
- 7-تقليل نشاط الجهاز العصبي اللاودي مؤقتاً.
- 

: التكيفات العصبية المزمنة مع التدريب.

التكيف العصبي هو مجموعة من التغيرات الوظيفية التي تطرأ على الجهاز العصبي المركزي (الدماغ والحبل الشوكي) والجهاز العصبي الطرفي (الأعصاب الطرفية والوحدات الحركية)، بهدف تحسين القدرة على السيطرة على العضلات وتحقيق الأداء الأمثل في مختلف الأنشطة الحركية.

### 1-تكيفات الجهاز العصبي الذاتي:

- زيادة النشاط اللاودي (Vagal Tone): انخفاض HR في الراحة (Bradycardia).
- انخفاض الاستجابة الودية لنفس الحمل → كفاءة أكبر.
- تحسن التوازن بين الودي واللاودي.

### 2-تكيفات الجهاز العصبي المركزي (CNS):

- تحسين كفاءة المراكز الحركية في الدماغ.
- انخفاض الإحساس بالتعب المركزي (Central Fatigue).
- زيادة القدرة على إرسال إشارات عصبية مستمرة للعضلات.

### 3- تكيفات الجهاز العصبي الطرفي (Peripheral Nervous System):

- تحسين سرعة النقل العصبي عبر المحاور (Axonal Conduction Velocity).
- زيادة حساسية المستقبلات العصبية في العضلات والأوتار.
- تحسن آليات الانعكاسات (Reflexes) مثل منعكس الشد.

### 4-التغيرات على مستوى الوحدات الحركية:

- ↑ تجنيد وحدات حركية عالية العتبة (High Threshold Motor Units).
- ↑ التزامن بين الوحدات الحركية → قوة أكبر.
- ↓ الحاجة لتجنيد مفرط عند نفس الحمل.

### التكيفات العصبية طويلة الأمد :

مع التدريب المنتظم (4-8 أسابيع مثلاً) تحدث تغيرات عصبية واضحة:

1. تجنيد الوحدات الحركية (Motor Unit Recruitment)
  - زيادة القدرة على تجنيد عدد أكبر من الوحدات الحركية.
  - تجنيد أسرع للألياف عالية العتبة (Type II).
2. معدل التنشيط (Rate Coding)
  - زيادة في سرعة إرسال النبضات العصبية → انقباض أقوى وأسرع.
3. التزامن العصبي (Synchronization)
  - تنسيق أعلى بين الوحدات الحركية → انقباض متكامل وقوي.
4. تقليل التثبيط العصبي (Neural Inhibition)
  - الجهاز العصبي يخفف من تأثير المستقبلات المثبطة مثل عضو وتر جولجي (Golgi Tendon Organ)، مما يسمح باستخدام قوة أكبر.
5. تحسين التنسيق العصبي العضلي (Neuromuscular Coordination)
  - تعزيز التعاون بين العضلات الرئيسية (Agonists) والمساعدة (Synergists).
  - تقليل النشاط الزائد للعضلات المقابلة (Antagonists).
6. تطور الذاكرة الحركية (Motor Learning & Memory)
  - الجهاز العصبي يخزن البرامج الحركية (Motor Programs) مما يجعل أداء المهارات أكثر دقة وأقل جهداً.

### مستويات التكيف العصبي :

- 1- الجهاز العصبي المركزي (CNS):
  - القشرة المخية الحركية: تتحسن كفاءتها في تخطيط وتنفيذ الحركات.
  - المخيخ: يتطور دوره في التوازن والدقة والتنسيق.
  - العقد القاعدية: تتحسن في تنظيم الأنماط الحركية المعقدة.
- 2- الجهاز العصبي المحيطي (PNS):
  - زيادة سرعة السيالات العصبية عبر الميالين.
  - تحسين حساسية المستقبلات الحسية (العضلية والمفصالية والجلدية).

---

: الفروق بين الاستجابة الحادة والتكيف المزمن

المتغير	الاستجابة الحادة	التكيف المزمن
معدل ضربات القلب	↑ سريع بفعل الودي	↓ في الراحة، استجابة أقل لنفس الحمل
التوازن الودي/اللاودي	سيطرة الودي	↑ نشاط اللاودي
الوحدات الحركية	تجنيد إضافي سريع	تجنيد أكثر كفاءة وتناغم
CNS تكييفات الجهاز العصبي المركزي	زيادة الجهد العصبي	تحسين الكفاءة وتقليل التعب المركزي
PNS تكييفات الجهاز العصبي الطرفي	سرعة النقل ثابتة	↑ سرعة النقل وحساسية المستقبلات

**د.التأثيرات العصبية لتدريب القوة:** قد تكون هي التفسير لزيادة القوة العضلية بالرغم من عدم زيادة حجم العضلة، كما أنها قد تفوق في تطورها الزيادة التي تحدث في حجم العضلات ويمكن تلخيص هذه التأثيرات فيما يلي:

اولا -تحسين السيطرة العصبية على العضلة: يظهر ذلك في إمكانية إنتاج مقدار أكبر من القوة مع انخفاض في النشاط العصبي، كما يظهر من خلال دراسات رسم العضلات الكهربائي وبالتالي إذا ما ارتفع مستوى النشاط العصبي زاد تبعاً لذلك تعبئة عدد أكبر من الألياف العضلية للمشاركة في الانقباض العضلي وزيادة القوة العضلية.

**ثانيا -زيادة تعبئة الوحدات الحركية:** ترتبط القوة الناتجة عن الانقباض العضلي بمقدار الوحدات الحركية المشاركة في هذا الانقباض، وتحت تأثير تدريبات القوة تزداد قدرة الجهاز العصبي على تجنيد عدد أكبر من الوحدات الحركية للمشاركة في الانقباض العضلي، وبذلك تزيد القوة العضلية مع ملاحظة أن تجنيد جميع الوحدات الحركية بالعضلة لا يمكن أن يقوم به الجهاز العصبي وتبقى دائما بعض الوحدات الحركية بصفة احتياطية لا تشترك في الانقباض العضلي وتزداد درجة اشتراك البعض منها تبعا لزيادة درجة المثير للجهاز العصبي، ولذلك تزداد القوة العضلية الإرادية عند سماع طلق ناري أو سماع صياح مفاجئ بصوت عال.

**ثالثا -زيادة تزامن توقيت عمل الوحدات الحركية:** ويعني ذلك أن الوحدات الحركية تختلف في سرعة استجابات أليافها للانقباض العضلي حيث لا يظهر التزامن في عملها في البداية تحت تأثير التدريب فتقترب توقيتات استجاباتها لتعمل معا في توقيت موحد بقدر الإمكان، ولهذا تأثيره على زيادة إنتاج القوة العضلية.

**رابعا -تقليل العمليات الوقائية للانقباض:** تعمل العضلة على حماية نفسها من التعرض لمزيد من المقاومة أو الشد الذي يقع عليها نتيجة زيادة قوة الانقباض العضلي بدرجة لا تتحملها الأوتار والأربطة وذلك عن طريق رد فعل عكسي للعضلة من خلال الأعضاء الحسية الموجودة بالأوتار مثل أعضاء كولجي التوتيرية التي تعمل على تقليل استثارة الوحدات الحركية لتقل قوة الانقباض العضلي، وذلك لحماية الأوتار والأربطة وتظهر مقاومة الأعضاء الحسية بصورة أكبر لتقل من مستوى القوة الناتجة عند استخدام كلا الطرفين معا حيثوجد أن مقدار القوة الناتجة عن انقباض عضلات الرجلين معا يكون أقل من مجموع القوة الناتجة عن كل رجل على حدة. وقد أطلق على هذا الفرق مصطلح (العجز الثنائي) والتدريب باستخدام كلا الطرفين يساعد على تقليل هذا العجز..

**د.التأثيرات العصبية لتدريب التحمل العضلي:** نظرا لاستخدام شدات منخفضة نسبيا لتدريب التحمل العضلي فإن العضلة لا تعمل بالجزء الأكبر من أليافها العضلية ويبقى دائما هناك جزء لا يشترك في الانقباض العضلي، ويتحكم في تنظيم ذلك الجهاز العصبي المركزيمن خلال ارتباط الألياف العضلية به عن طريق الوحدات الحركية، حيث تقوم الوحدات الحركية بتناوب العمل فيما بينها فتعمل بعض الوحدات الحركية حتى مرحلة التعب ثم تتناوب عنها مجموعة أخرى وهكذا، وبهذه الطريقة يستمر العمل العضلي لأطول فترة ممكنة، وبالتدريب المنتظم تتحسن عمليات التوافق العصبي العضلي بما يحقق تنظيم عمل الوحدات

الحركية ودقة تقدير المقاومة التي تواجهها العضلة وتعبئة العدد المناسب منالوحدات الحركية التي تشارك في الانقباض العضلي.

**: ثالثاً: أبرز التكيفات العصبية بعد التدريب**

### **زيادة تجنيد الوحدات الحركية 1**

.الوحدات الحركية هي أصغر وحدة عصبية عضلية مسؤولة عن الانقباض.  
.التدريب يزيد من القدرة على تنشيط عدد أكبر من الوحدات الحركية، مما يرفع القوة المنتجة.  
.يظهر هذا التكيف بوضوح في تدريبات القوة والمقاومة.

### **تحسين معدل التفعيل العصبي : 2**

.يقصد به سرعة إرسال النبضات العصبية من العصب إلى العضلة.  
.كلما زادت سرعة النبضات زادت شدة الانقباض العضلي.  
.هذا التكيف مهم بشكل خاص في الأنشطة التي تتطلب قوة انفجارية (مثل القفز والعدو).

### **زيادة التزامن بين الوحدات الحركية : 3**

.التدريب يساعد على عمل الوحدات الحركية بشكل متزامن بدلاً من متقطع.  
.يؤدي ذلك إلى إنتاج حركة أكثر قوة واستقراراً.

### **انخفاض التثبيط العصبي :4**

.الجهاز العصبي يحتوي على مستقبلات واقية مثل جهاز جولجي الوتر تمنع الإفراط في توليد القوة لحماية العضلة من الإصابة.  
.التدريب يقلل من هذا التثبيط، مما يسمح باستخدام طاقة أكبر من العضلة بشكل آمن ومدروس.

## تحسين التنسيق بين العضلات : 5

.يتحقق من خلال تقليل تدخل العضلات المضادة وزيادة فعالية العضلات المساعدة.  
.يؤدي ذلك إلى حركة أكثر كفاءة واقتصاداً في الجهد.

## زيادة سرعة الاستجابة العصبية : 6

.الألياف العصبية تصبح أسرع في نقل الإشارات نتيجة للتدريب المنتظم.  
.هذا يرفع من سرعة ردود الأفعال والتوقيت الحركي.

## تعزيز التعلم الحركي والذاكرة الحركية : 7

.مع التكرار، يتم تخزين الحركات في الجهاز العصبي على شكل “برامج حركية”.  
.هذا يعزز الأداء الآلي ويقلل من الجهد العقلي المبذول أثناء التنفيذ.

## **: الأهمية التطبيقية**

### **1. للرياضيين:**

- تدريب القوة أول 4 أسابيع من الزيادة بالقوة سببها عصبي أكثر من كونه تضخم عضلي أي يزيد من التكيف العصبي أكثر من البنيوي في المراحل الأولى

.الرياضي يستطيع رفع أوزان أثقل بفضل تجنيد وحدات حركية أكثر وتزامنها.

- التدريب الهوائي يعزز النشاط اللاودي ويحسن الاستقرار القلبي. والجهاز العصبي يتحكم بكفاءة توزيع الجهد وتثبيت الإيقاع الحركي وتخفيف التعب المركزي،

## رياضات التحمل (الجري، السباحة)

- رياضات المهارة (التنس، كرة القدم، الجمباز):  
التكيف العصبي يظهر في تحسن سرعة الاستجابة، الدقة الحركية، التوازن، وردود الأفعال.  
التحكم العصبي هو الأساس في تحسين الأداء الرياضي.

- التكيفات العصبية (مثل زيادة تجنيد الوحدات الحركية) تظهر أسرع من التكيفات العضلية.
- إصابات الجهاز العصبي (مثل التصلب المتعدد MS) تؤدي إلى خلل في نقل الإشارات العصبية وبالتالي ضعف الأداء الحركي.

## 2. في المجال العلاجي:

- برامج التدريب العصبي-العضلي مهمة لإعادة التأهيل (Rehabilitation).
- مرضى القلب يستفيدون من زيادة التوازن اللاودي وخفض الودي.

---

## : أمثلة عملية

- العدائين: لديهم HR منخفض في الراحة بسبب زيادة النشاط اللاودي.
  - رافعي الأثقال: لديهم قدرة أعلى على تجنيد الوحدات الحركية عالية العتبة.
  - التدريب البليوميترى: يحسن سرعة النقل العصبي وحساسية المستقبلات في الأوتار.
-

## الخاتمة

الجهاز العصبي يُمثل المحرك الأساسي للاستجابة الفسيولوجية الحادة والمزمنة مع التدريب. الاستجابات العصبية الحادة تضمن الحفاظ على التوازن اللحظي، بينما التكيفات العصبية المزمنة تبني قاعدة طويلة الأمد لتحسين الأداء الرياضي والصحي.

---

## المراجع

- .Enoka RM. Neuromechanics of Human Movement. 2020
- ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 11th .ed. 2021
- Joyner MJ, Lundby C. Neural and Cardiovascular Integration in .Exercise. Annu Rev Physiol. 2022
- –Frontiers in Physiology – Neural Control Section (2023
- .Guyton & Hall. Textbook of Medical Physiology. 2021
- .Kandel ER. Principles of Neural Science. 2021
- .ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 2021
- .Bear MF. Neuroscience: Exploring the Brain. 2020

