

Fondamenti di bioingegneria

***Laurea in
Ingegneria Informatica, Biomedica e delle
Telecomunicazioni***

Fabio Baselice



Argomenti

- Volume conductor fields
- Organizzazione funzionale del sistema nervoso periferico.
- Elettroencefalogramma (EEG)
- Elettromiogramma (EMG)

Volume Conductor Fields

Analizziamo il campo prodotto da una singola cellula attiva immersa in un volume conduttore (es. soluzione salina).

Vanno considerati due elementi

- la sorgente bioelettrica – consideriamo una fibra nervosa attiva senza mielina;
- il mezzo in cui è immersa (carico elettrico) – consideriamo un volume conduttore con resistività ρ ed estensione grande (idealmente infinito).

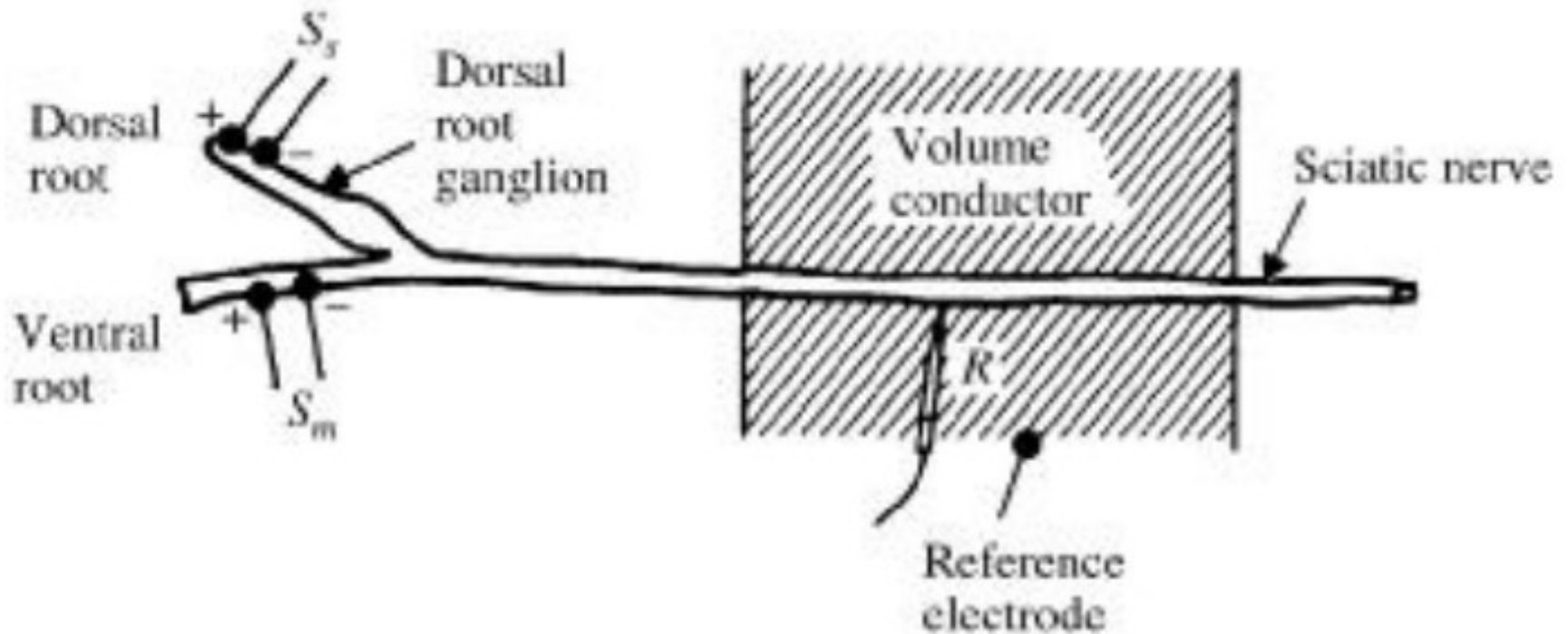
Volume Conductor Fields

Consideriamo che il potenziale d'azione viaggi lungo la fibra a velocità costante, pertanto:

$$v_m(t) \rightarrow v_m(z)$$

Radialmente l'ampiezza del campo potenziale si attenua con legge esponenziale funzione della distanza dalla fibra, e può essere considerato pari a zero ad una distanza di 15 volte il raggio della fibra.

Volume Conductor Fields



Potenziale registrato sulla superficie del nervo sciatico della rana (diametro di 1mm). Componenti motoria e sensoriale.

Volume Conductor Fields



Potenziale registrato sulla superficie del nervo sciatico della rana (diametro di 1mm). Componenti motoria e sensoriale.

Volume Conductor Fields



Potenziale registrato sulla superficie del nervo sciatico della rana (diametro di 1mm). Componenti motoria e sensoriale.

Elettroencefalogramma

Le fibre nervose afferenti ai muscoli hanno un diametro maggiore delle altre: l'ampiezza dei potenziali registrati è pertanto più grande.

Possiamo utilizzare elettrodi superficiali (grande area, poca profondità) o ad aghi (buona profondità, area limitata).

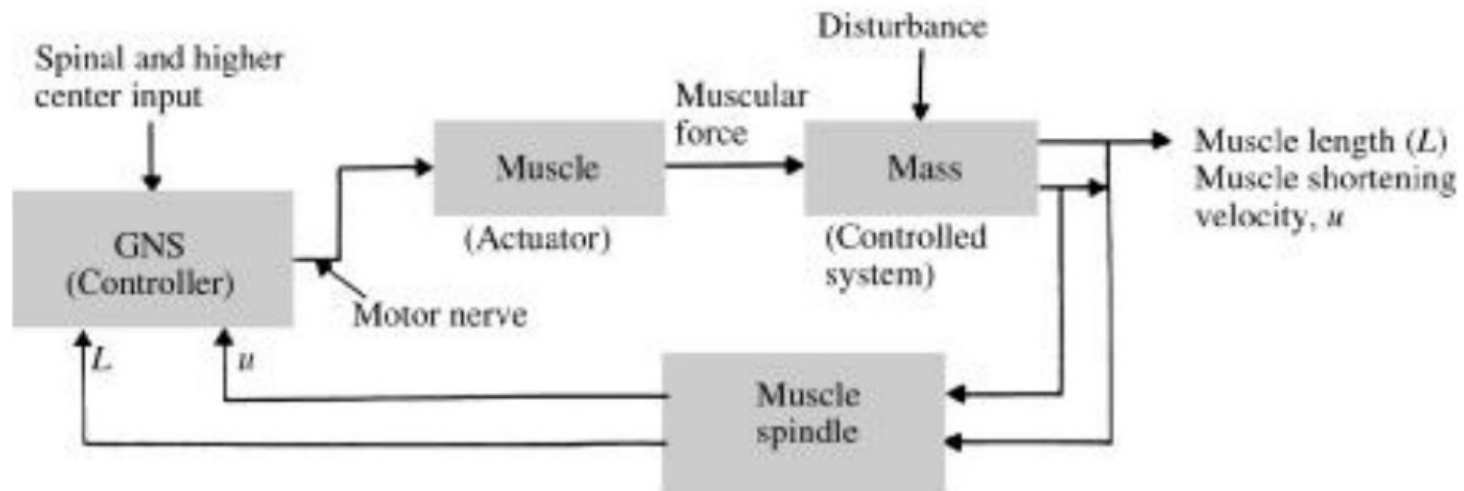
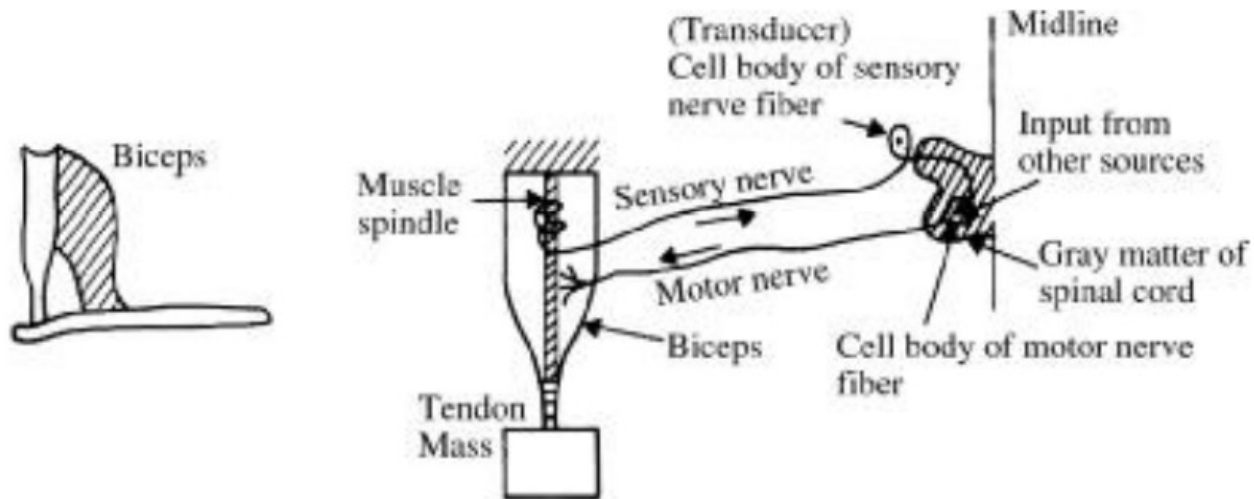
Fiber type	Function according to fiber type (Lloyd and Hunt types I – IV)	Diameter (μm)	Conduction rate (m/s)
A α	Skeletal muscle efferent, afferents in muscle spindles (Ib) and tendon organs (Ib)	11 – 16	60 – 80
A β	Mechanoafferents of skin (II)	6 – 11	30 – 60
A γ	Muscle spindle efferents	1 – 6	2 – 30
A δ	Skin afferents (temperature and “fast” pain) (III)		
B	Sympathetic preganglionic; visceral afferents	3	3 – 15
C	Skin afferents (“slow” pain) (IV); sympathetic postganglionic afferents	0.5 – 1.5 (unmyelinated)	0.25 – 1.5

Arco Riflesso

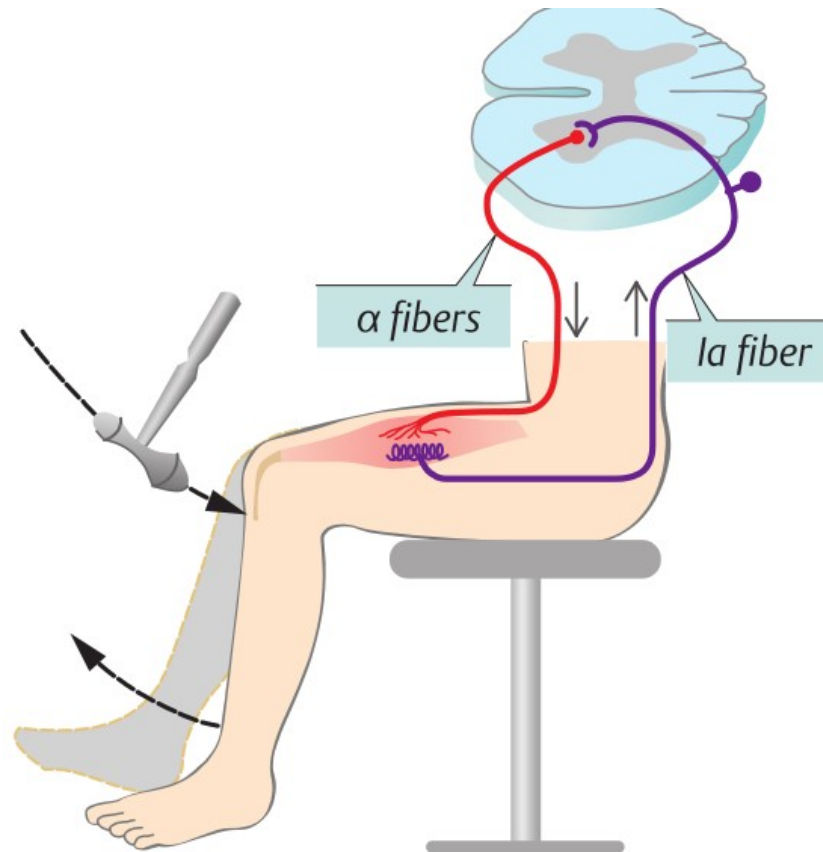
Il sistema nervoso spinale è organizzato dal punto di vista funzionale sulla base del cosiddetto “arco riflesso”, le cui componenti sono:

- Un organo di senso (recettori)
- Un nervo sensoriale (trasmette il segnale dei recettori al sistema centrale)
- Il sistema nervoso centrale, che prende le decisioni
- Un nervo motorio (dal sistema centrale al muscolo)
- Un organo attuatore (muscolo)

Arco Riflesso



Arco Riflesso



Riflesso patellare (controreazione negativa)

Trasmissione nelle giunzioni

All'interno dell'arco riflesso vi sono diversi canali di comunicazione:

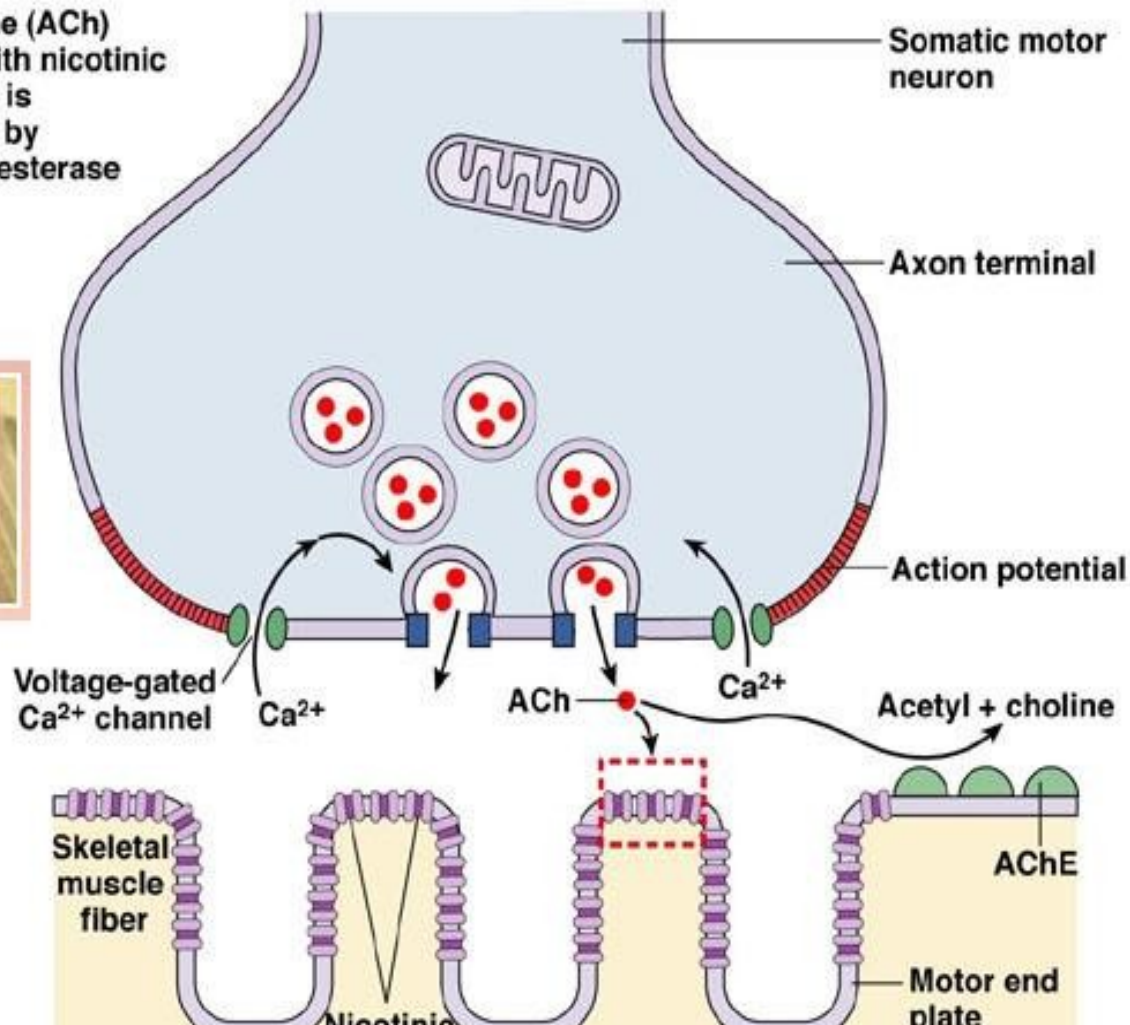
- *Neuro-neuro*: sinapsi;
- *Neuro-muscolare*: giunzioni neuromuscolari.

Nelle giunzioni neuromuscolari vi è una regione detta *end plate* in cui la trasmissione di impulsi è di natura elettrochimica.

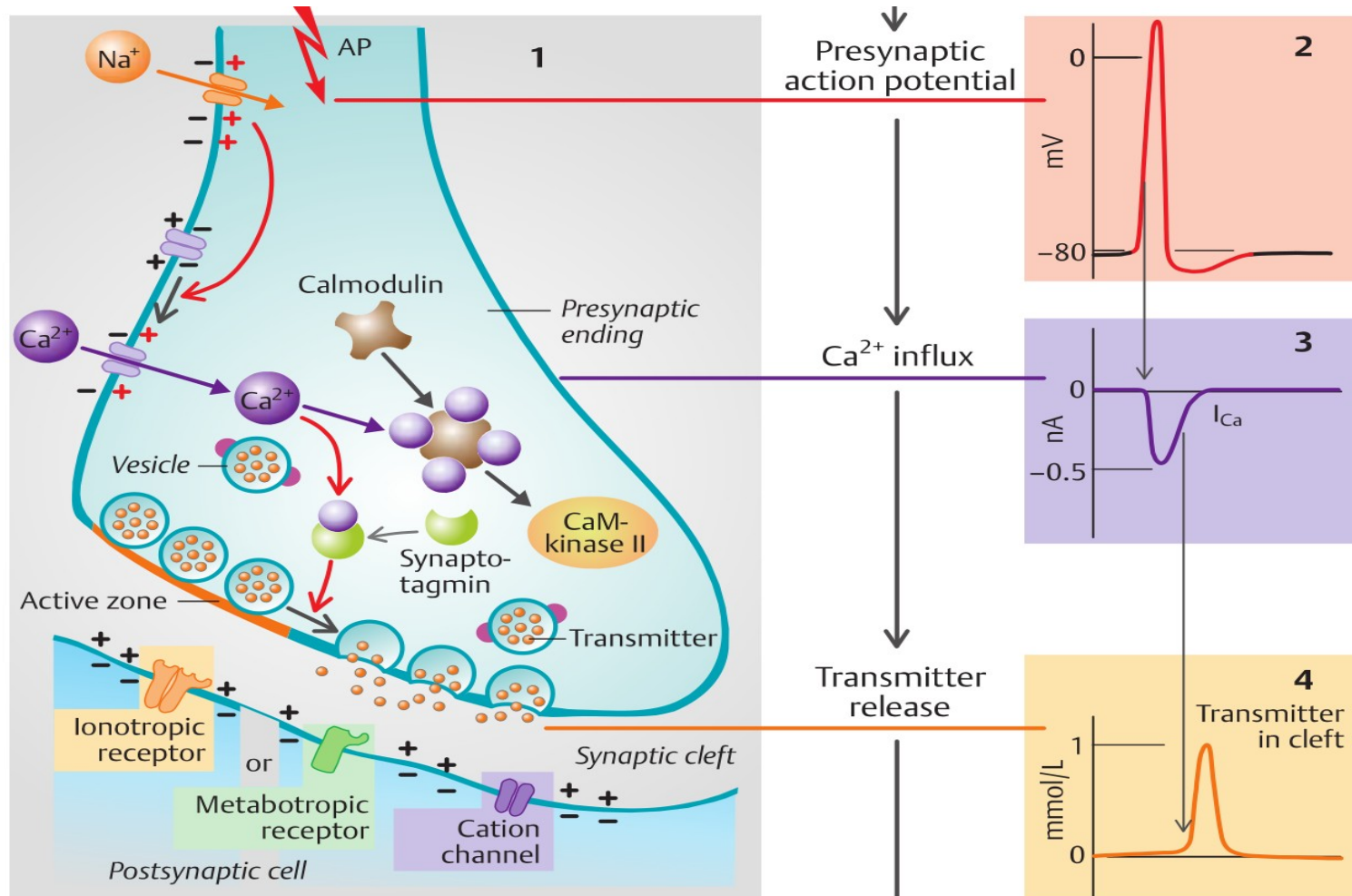
Nello specifico all'interno della giunzione una fibra, quando depolarizzata, rilascia il neurotrasmettitore ACh (acetilcolina). L'acetilcolina si combina con i recettori sulla membrana target ed attiva i canali. Il tutto avviene in meno di 1ms.

Trasmissione nelle giunzioni

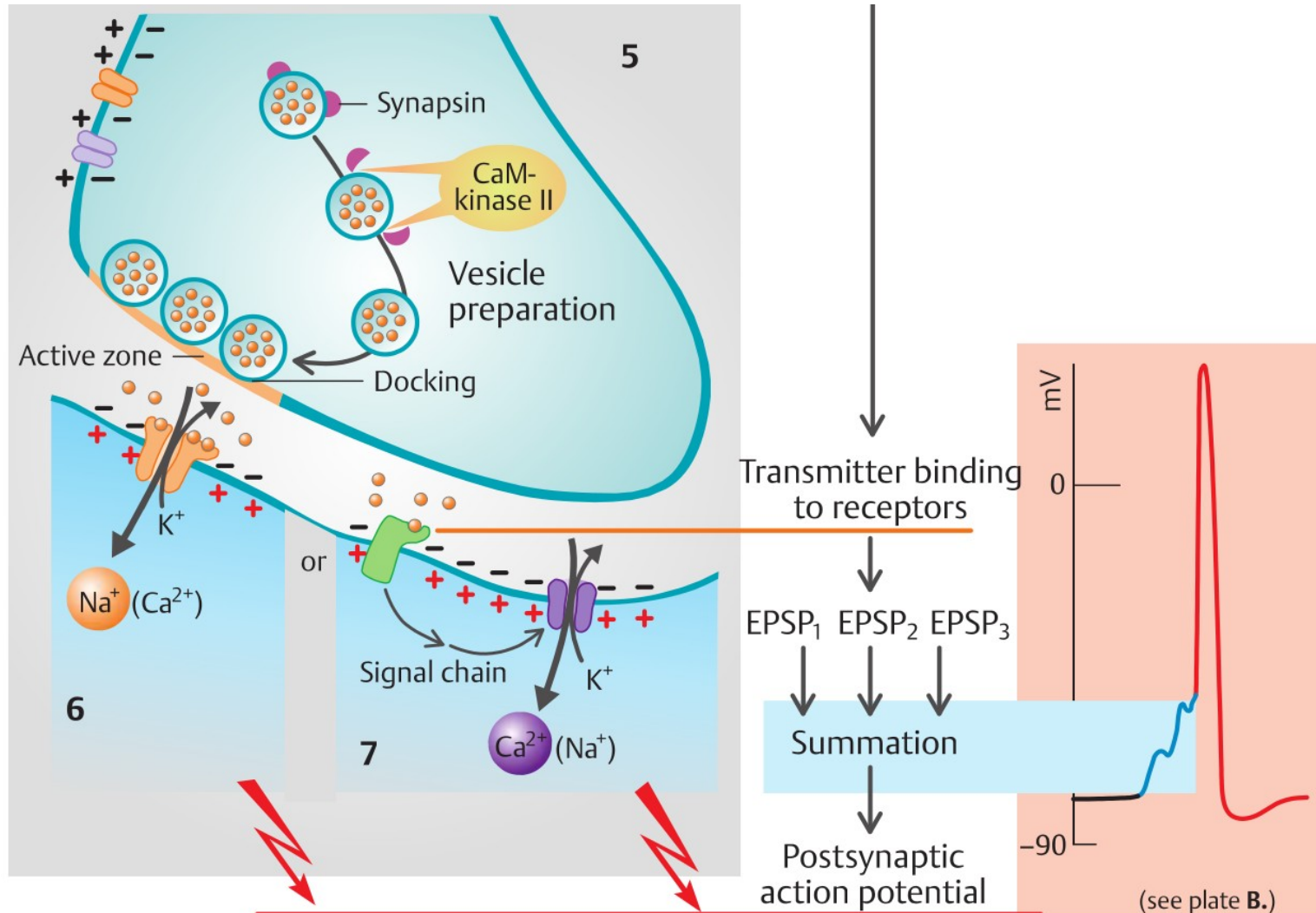
(a) Acetylcholine (ACh) combines with nicotinic receptors or is metabolized by acetylcholinesterase (AChE).



Trasmissione nelle giunzioni



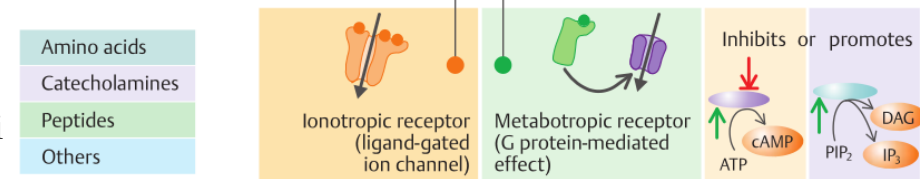
Trasmissione nelle giunzioni



Neurotrasmettitori

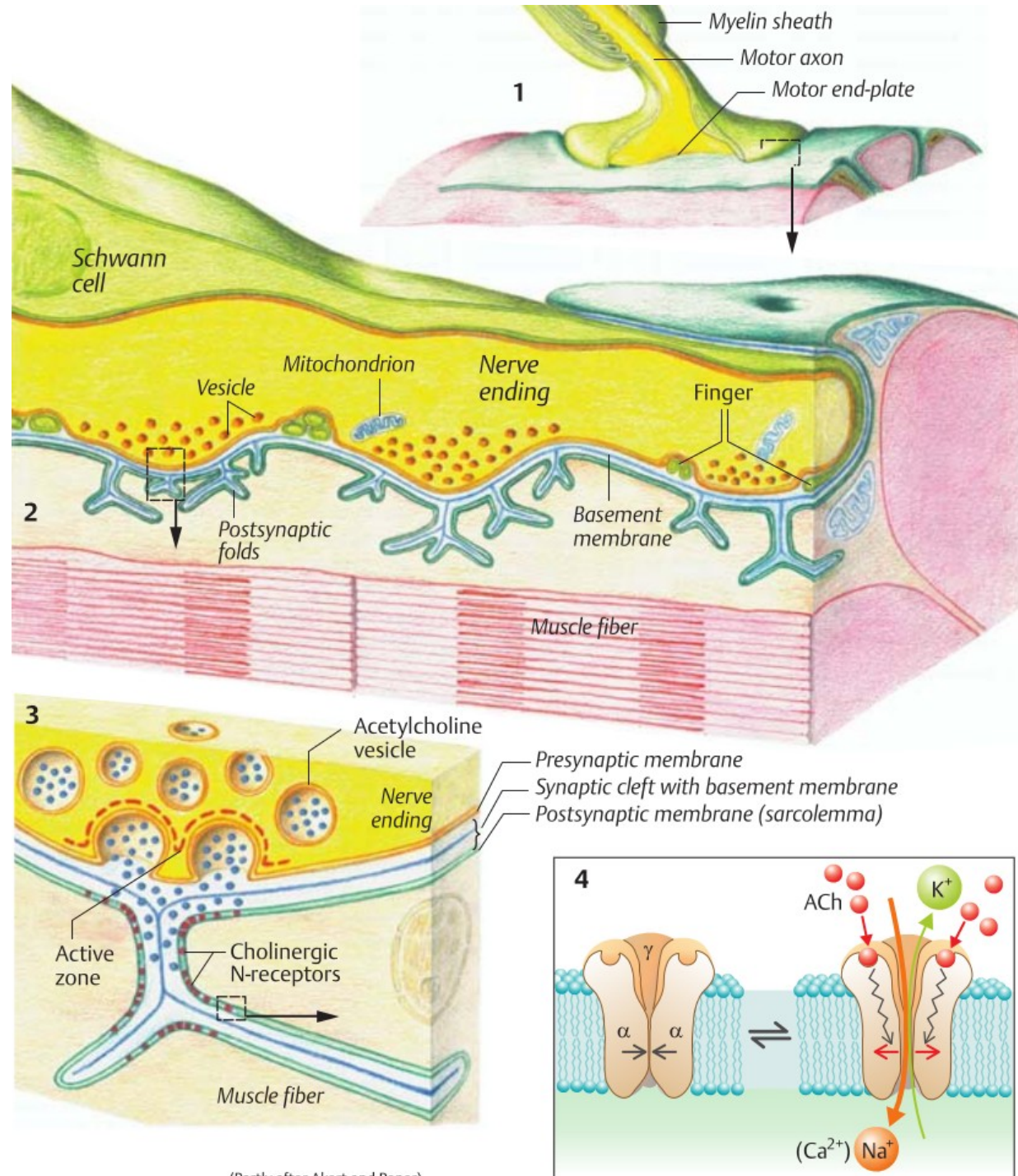
Neurotrasmettitori nel
sistema nervoso centrale.

Transmitter	Receptor subtypes	Receptor types	Effect				Second messenger	
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	cAMP	IP ₃ / DAG
Acetylcholine	Nicotinic Muscarinic: M1, M2, M3	●	↑	↑	↑			↑
ADH (= vasopressin)	V1 V2	●					↑	↑
CCK (= cholecystokinin)	CCK _{A-B}	●						↑
Dopamine	D1, D5 D2	●		↑	↓		↑	↓
GABA (= γ-aminobutyric acid)	GABA _A , GABA _C GABA _B	●		↑	↓	↑	↓	
Glutamate (aspartate)	AMPA Kainat NMDA m-GLU	●	↑	↑	↑		↓	↑
Glycine	—	●				↑		
Histamine	H ₁ H ₂	●					↑	↑
Neurotensin	—	●					↓	↑
Norepinephrine, epinephrine	α ₁ (A-D) α ₂ (A-C) β ₁₋₃	●		↑	↓		↓	↑
Neuropeptide Y (NPY)	Y 1-2	●		↑	↓		↓	
Opioid peptides	μ, δ, κ	●		↑	↓		↓	
Oxytocin	—	●						↑
Purines: AMP, Adenosin ATP ATP, ADP, UTP, UDP	P1A _{1,3} P1A _{2a,2b} P2X ₁₋₇ P2Y ₁₋₁₄	●	↑	↑	↑		↑	↑
Serotonin (5-hydroxytryptamine)	5-HT ₁ 5-HT ₂ 5-HT ₃ 5-HT ₄₋₇	●	↑	↑			↑	↑
Somatostatin (= SIH)	SRIF	●		↑	↓		↓	
Tachykinin	NK 1-3	●						↑

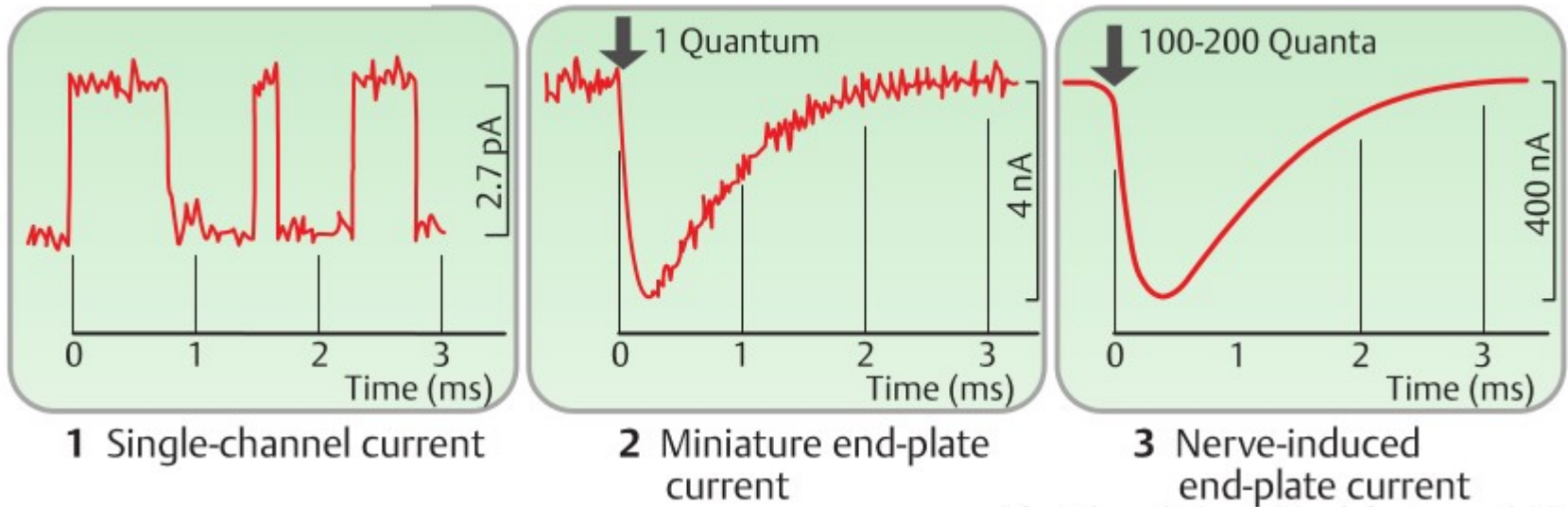


End Plate

End plate motorio.



Correnti di End Plate

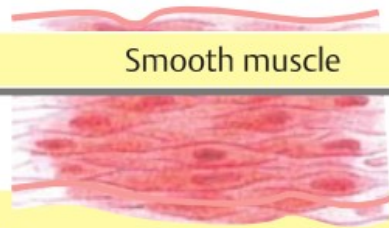


1. Apertura singolo canale
2. Apertura di una vescicola;
3. Attivazione di un neurone di moto.

Tipologie muscolari

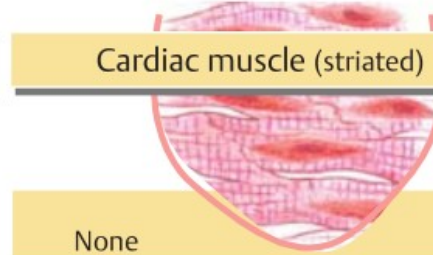
Structure and function

Motor end-plates	None
Fibers	Fusiform, short (≤ 0.2 mm)
Mitochondria	Few
Nucleus per fiber	1
Sarcomeres	None
Electr. coupling	Some (single-unit type)
Sarcoplasmic reticulum	Little developed
Ca ²⁺ "switch"	Calmodulin/caldesmon
Pacemaker	Some spontaneous rhythmic activity ($1s^{-1} - 1h^{-1}$)
Response to stimulus	Change in tone or rhythm frequency
Tetanizable	Yes
Work range	Length-force curve is variable



Smooth muscle

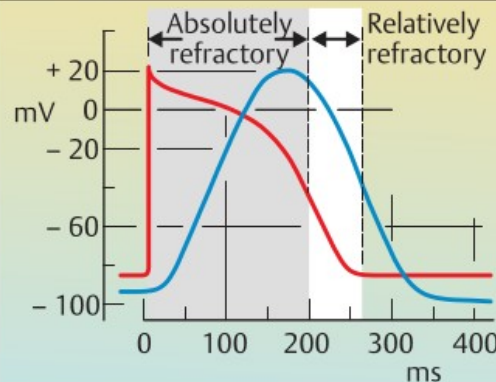
Cardiac muscle (striated)



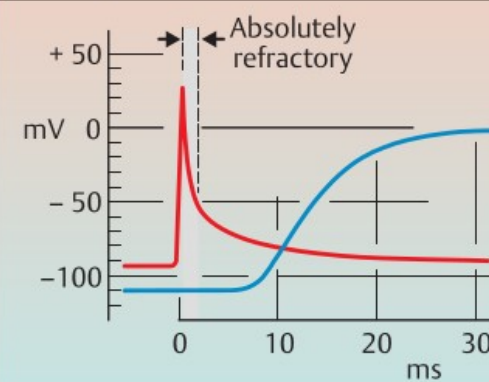
Skeletal muscle (striated)



Motor end-plates	None
Fibers	Branched
Mitochondria	Many
Nucleus per fiber	1
Sarcomeres	Yes, length ≤ 2.6 μm
Electr. coupling	Yes (functional syncytium)
Sarcoplasmic reticulum	Moderately developed
Ca ²⁺ "switch"	Troponin
Pacemaker	Yes (sinus nodes ca. $1s^{-1}$)
Response to stimulus	All or none
Tetanizable	No
Work range	In rising length-force curve (see 2.15E)

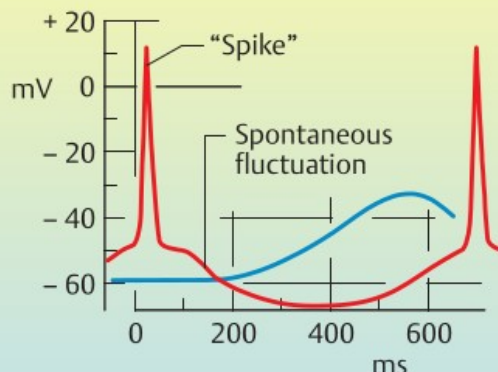


Motor end-plates	Yes
Fibers	Cylindrical, long (≤ 15 cm)
Mitochondria	Few (depending on muscle type)
Nucleus per fiber	Multiple
Sarcomeres	Yes, length ≤ 3.65 μm
Electr. coupling	No
Sarcoplasmic reticulum	Highly developed
Ca ²⁺ "switch"	Troponin
Pacemaker	No (requires nerve stimulus)
Response to stimulus	Graded
Tetanizable	Yes
Work range	At peak of length-force curve (see 2.15E)

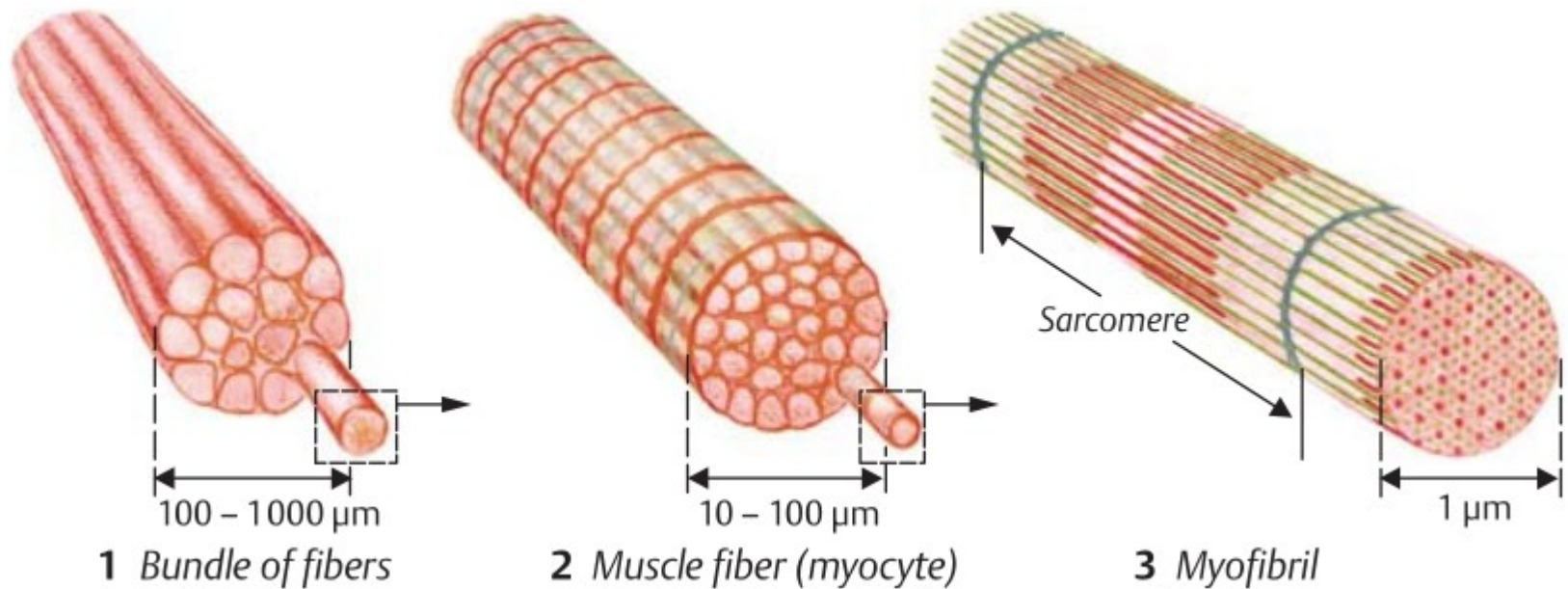


Response to stimulus

Potential —
Muscle tension —

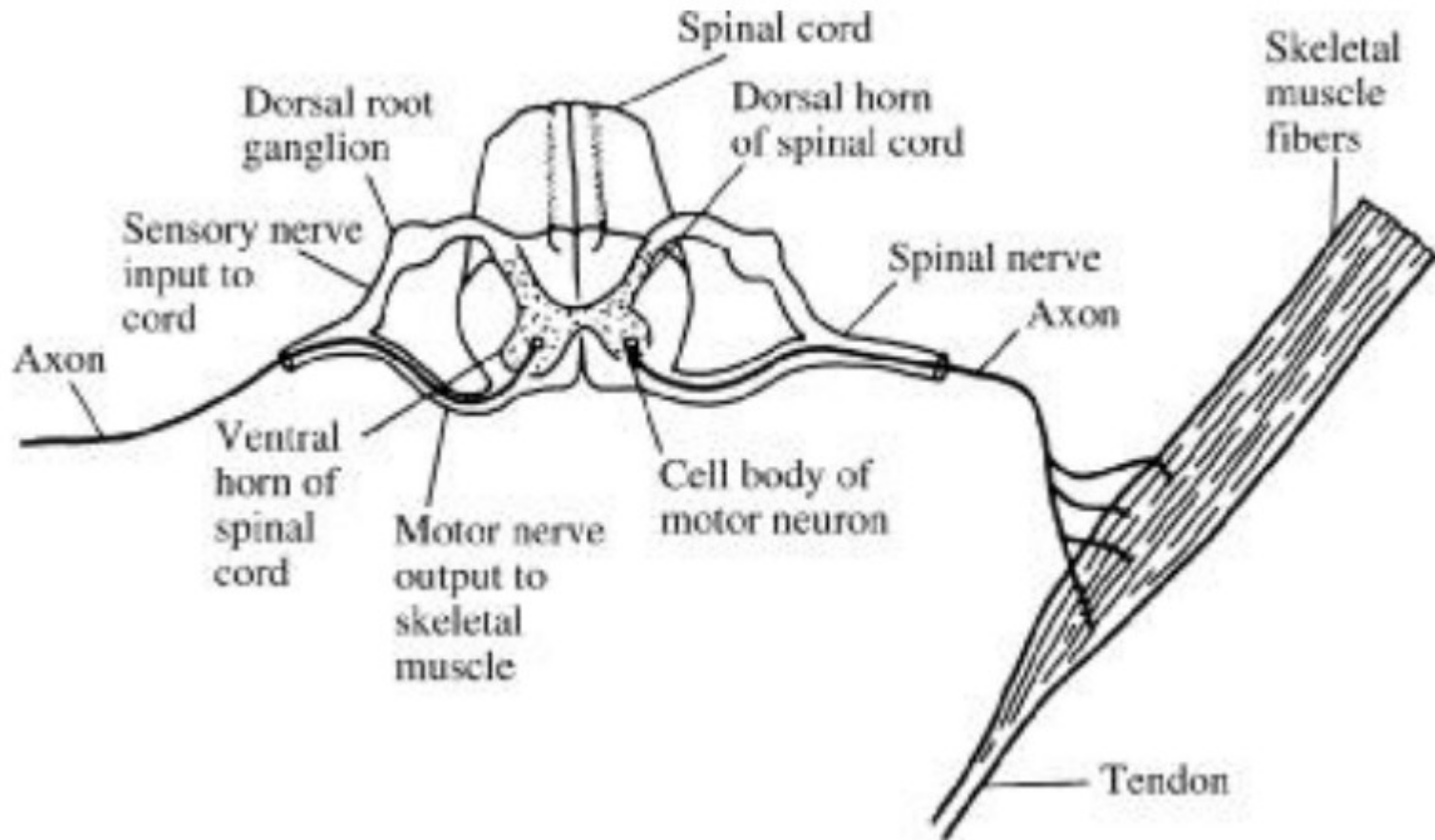


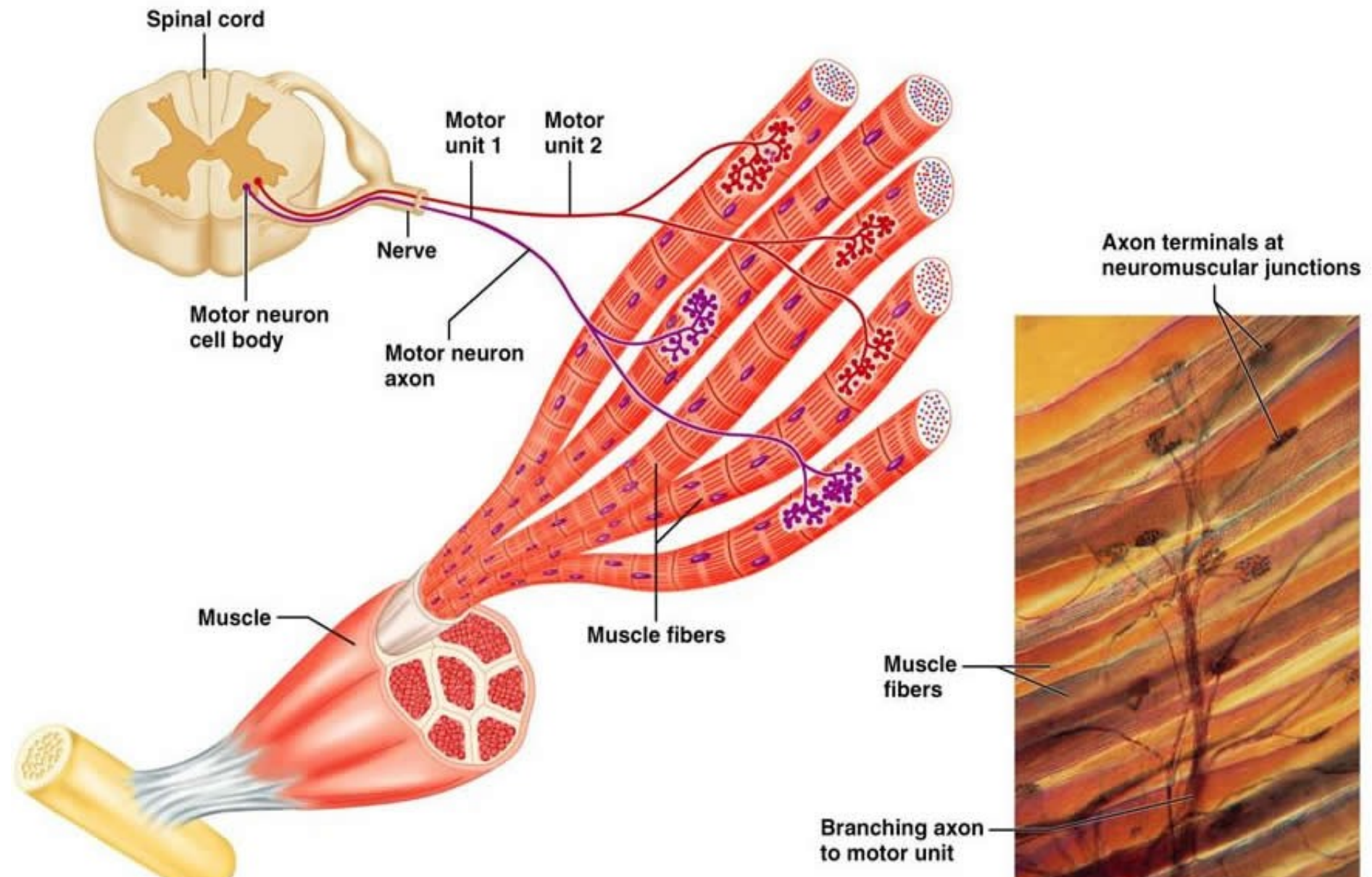
Struttura dei muscoli striati



Il sarcomero è l'unità contrattile del tessuto muscolare striato.
Fibre muscolari lente (rosse) e veloci (bianche).

Unità motorie





Unità motorie

I muscoli scheletrici sono organizzati da un punto di vista funzionale in **unità motorie**, ciascuna caratterizzata da una singola fibra nervosa e l'insieme delle fibre motorie ad essa collegate.

L'unità motoria è l'unità muscolare più piccola che può essere attivata, e tutte le fibre muscolari che la costituiscono si contraggono in maniera sincrona. Il numero di fibre per unità varia molto (10 per occhio, 1000 per coscia).

Le fibre muscolari attive di ciascuna *Unità Motoria Singola* (SMU) costituiscono una sorgente bioelettrica distribuita.

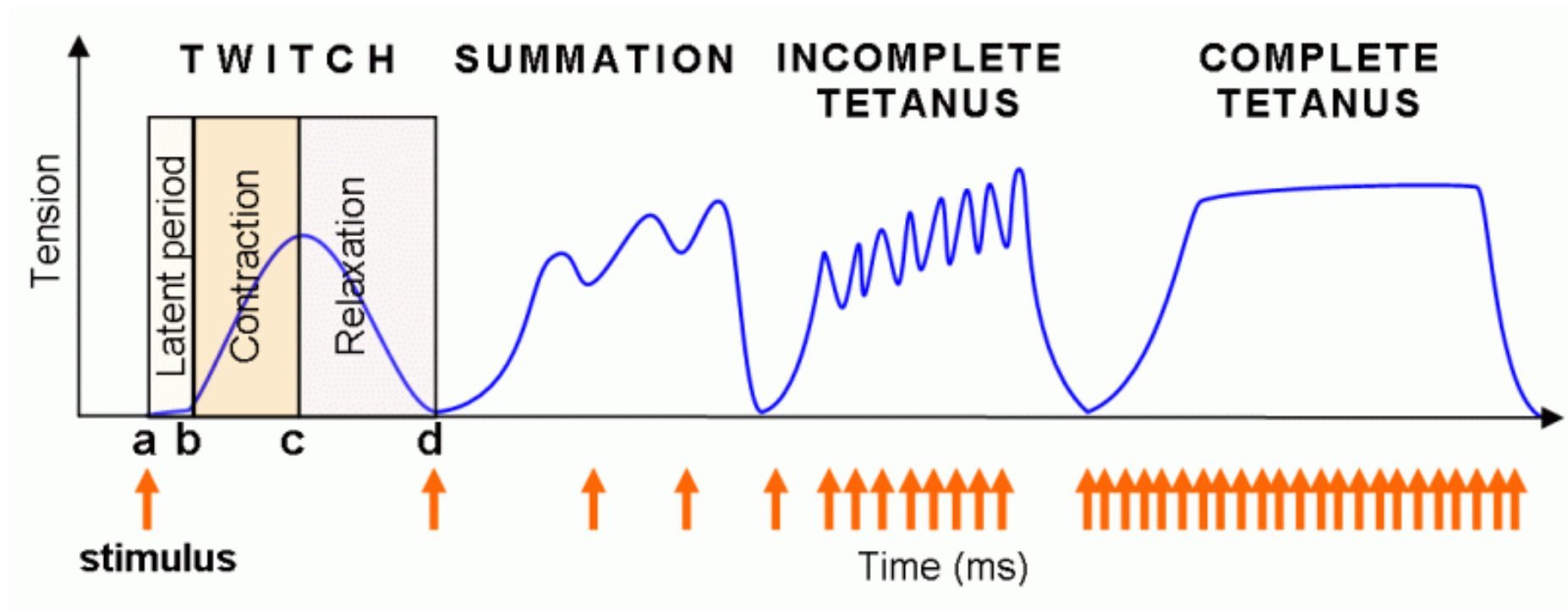
Trasmissione nelle giunzioni

Vi è un certo ritardo fra l'attivazione elettrica del muscolo e la contrazione meccanica, definito *excitation-contraction time*, che dipende dal muscolo.

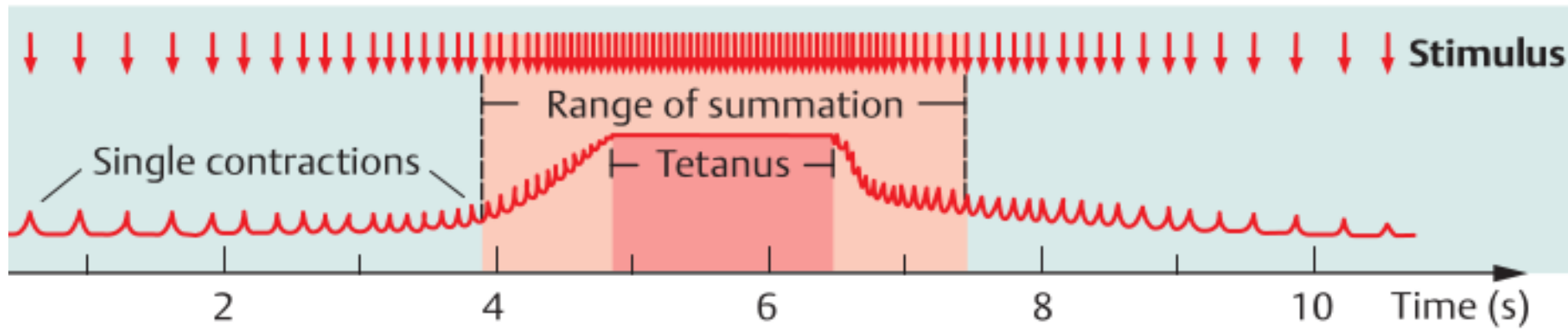
In caso di stimolazioni multiple, le risposte meccaniche si sommano. Se la frequenza degli stimoli è alta (20 Hz per le fibre lente, 60-100 Hz per quelle veloci), la risposta meccanica è un'unica lunga contrazione (*tetanic contraction*).



Contrazione muscolare



Contrazione muscolare



Forza muscolare isometrica.

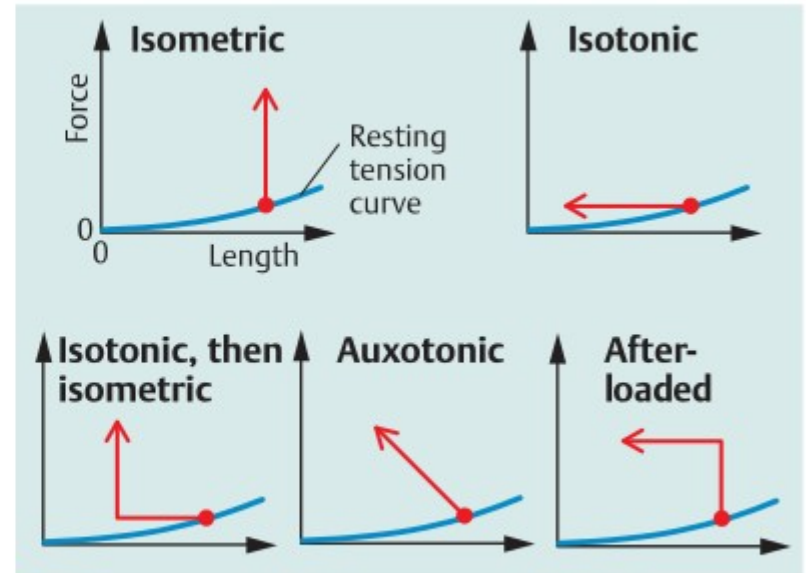
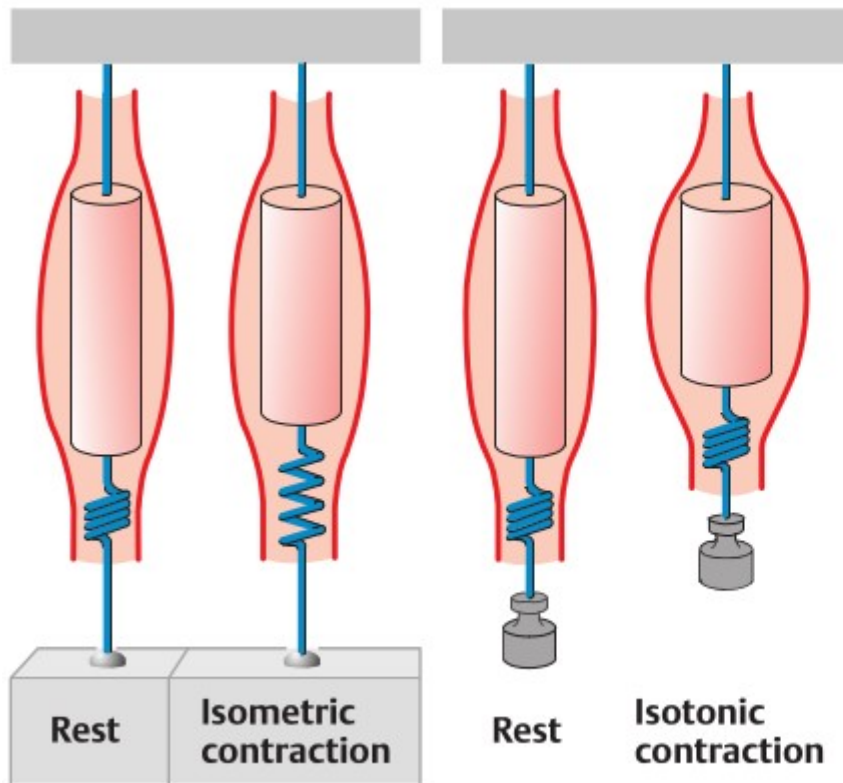
Lavoro muscolare

Vi sono 3 tipi di lavoro muscolare:

- lavoro dinamico positivo;
- lavoro dinamico negativo;
- lavoro posturale statico.

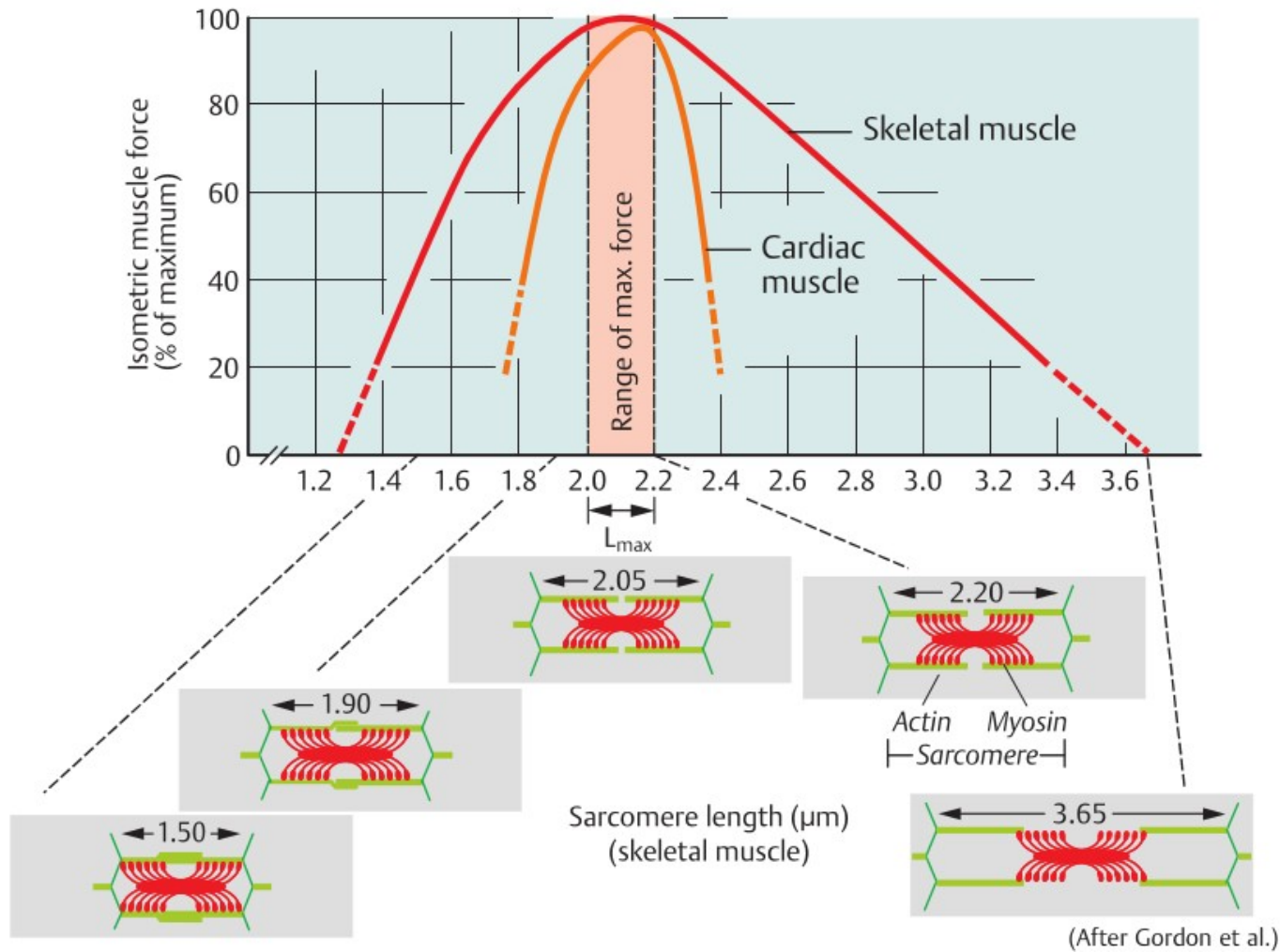
In caso di lavoro strenuo, il muscolo richiede fino a 500 volte l'ossigeno e 4 volte l'afflusso di sangue rispetto alla condizione di riposo.

Tipi di contrazione



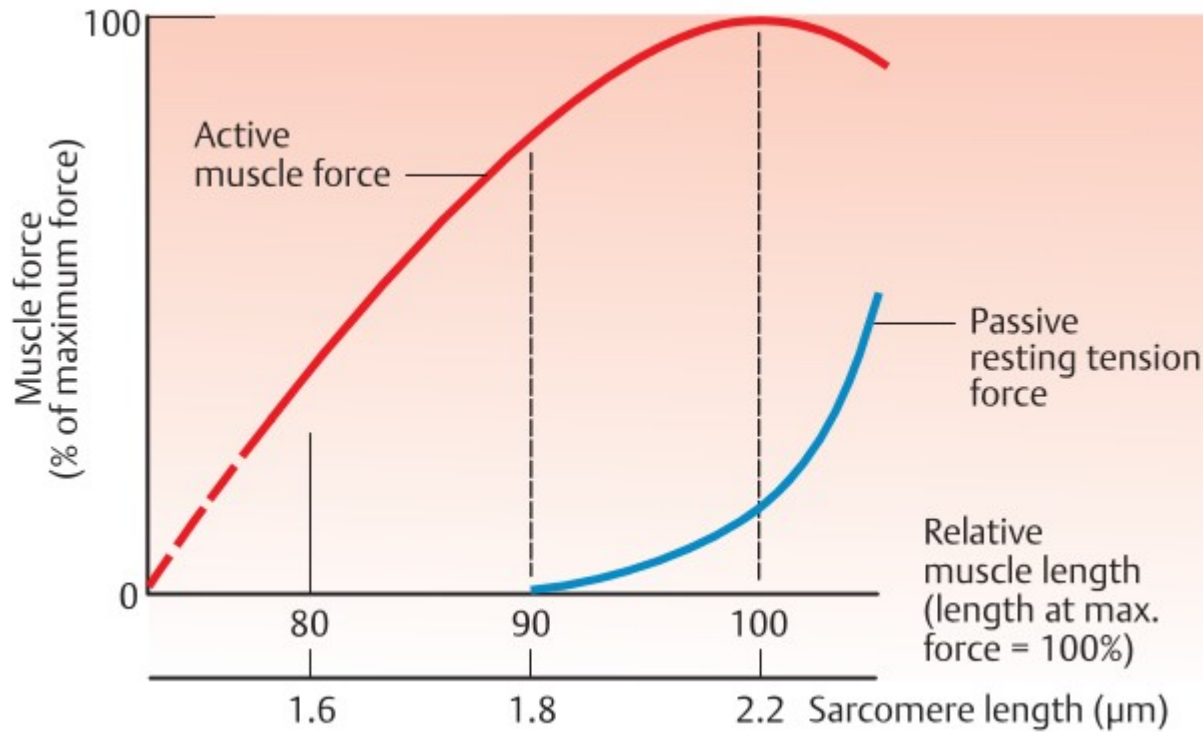
Contrazione isometrica ed isotonica.

Tipi di contrazione



Forza muscolare isometrica Vs. lunghezza del sarcomero.

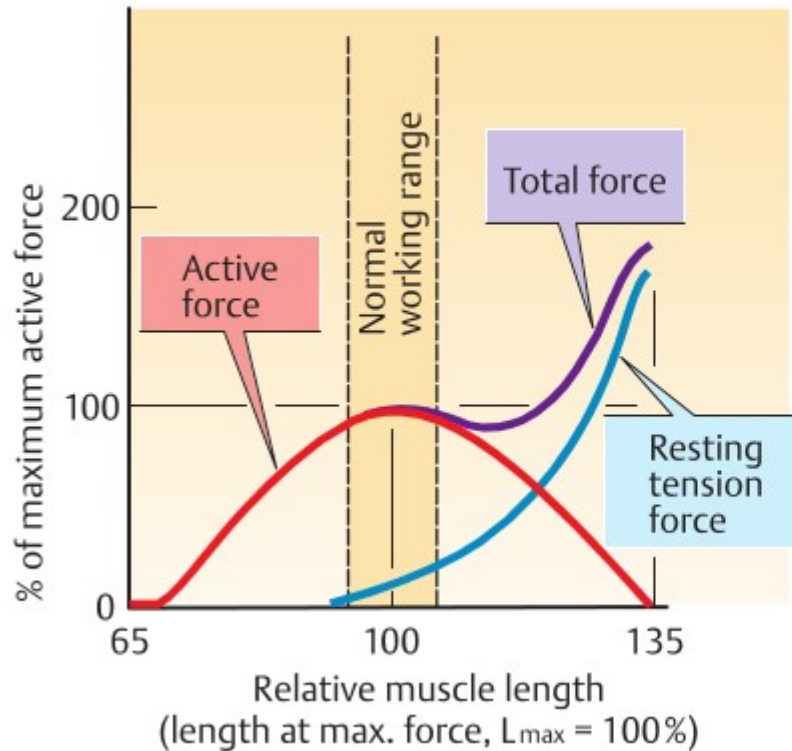
Forza muscolare



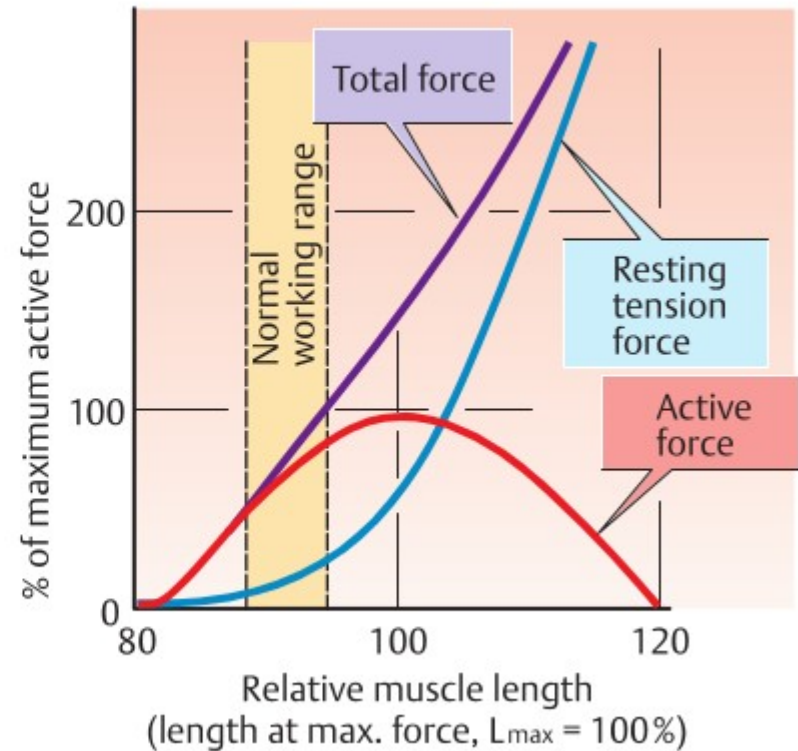
Componenti attiva e passiva (titina) della forza muscolare.

Forza muscolare

1 Skeletal muscle

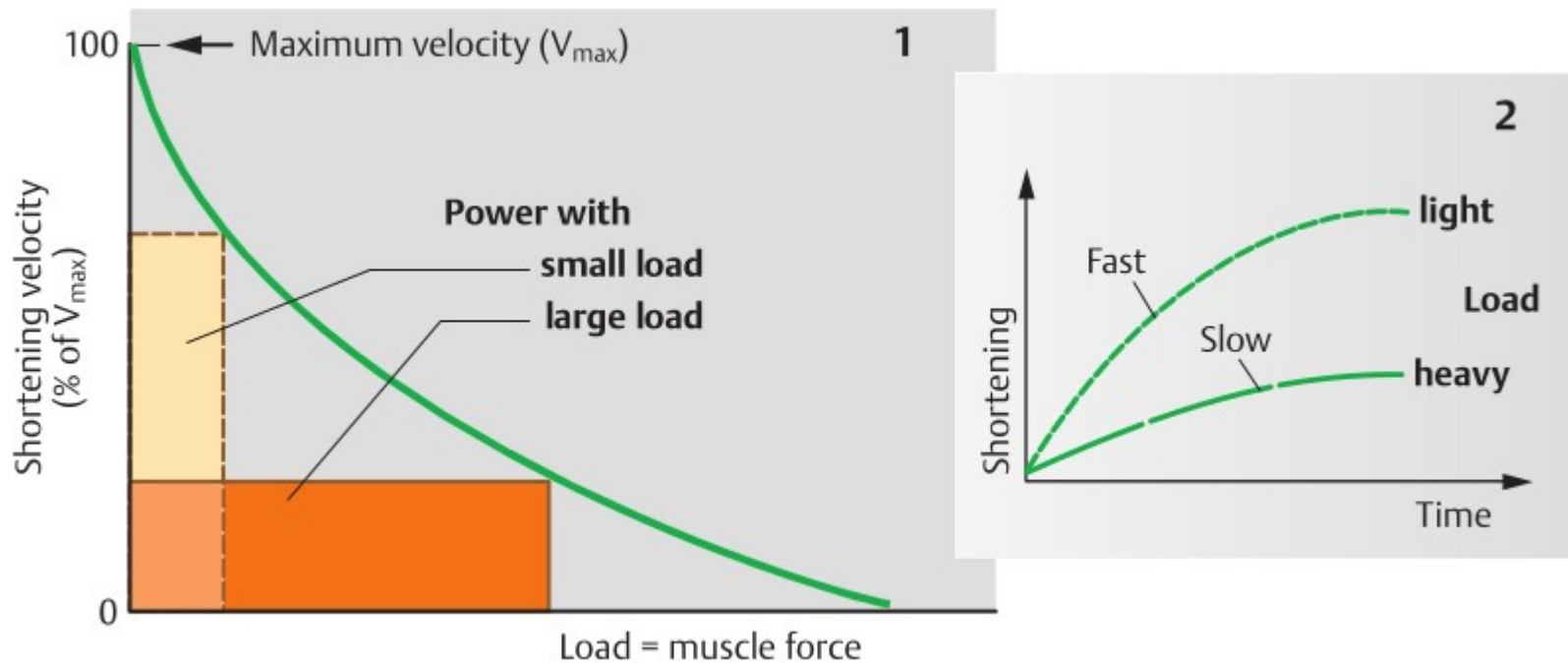


2 Cardiac muscle



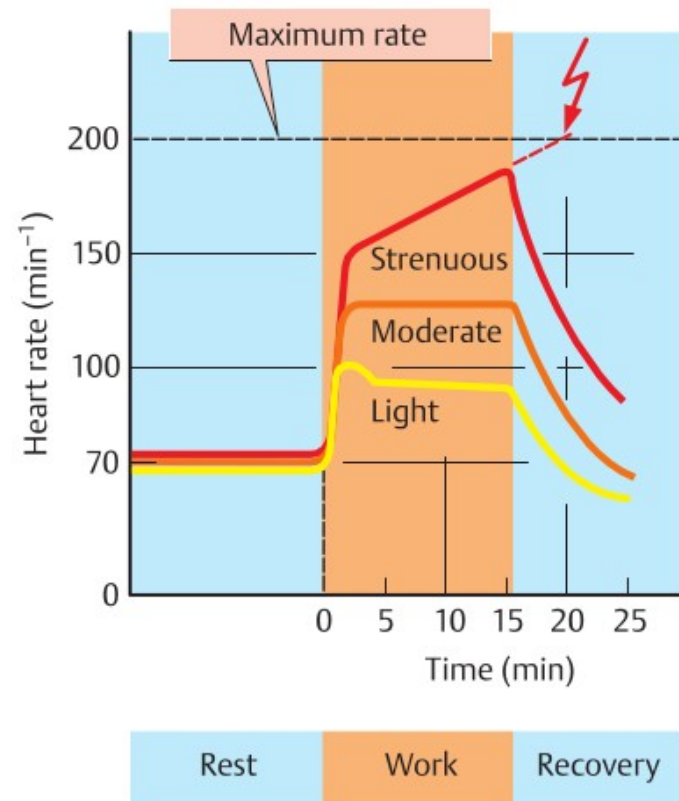
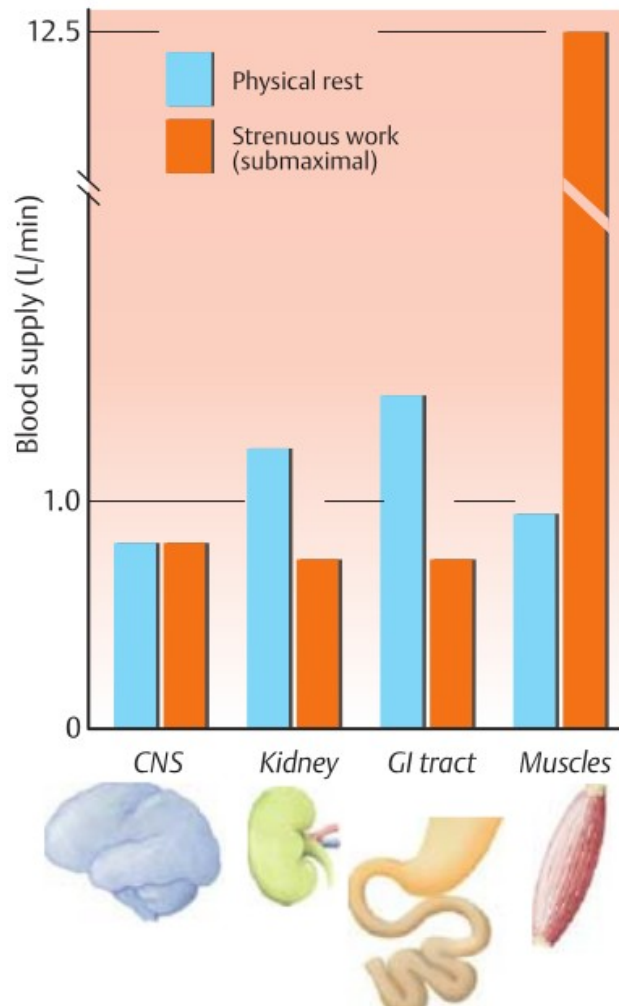
Relazione forza-lunghezza.

Forza muscolare



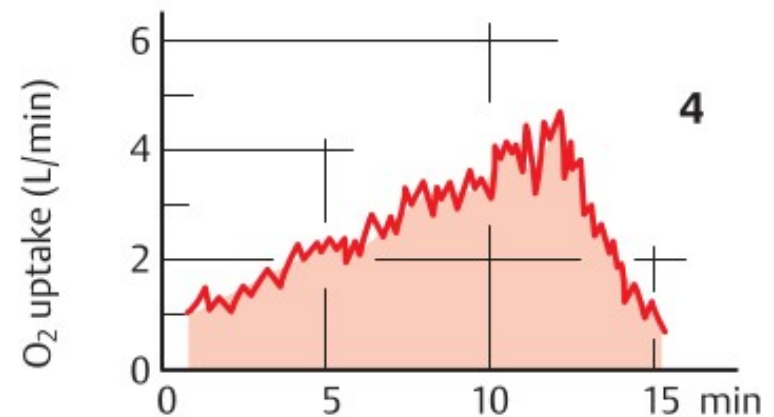
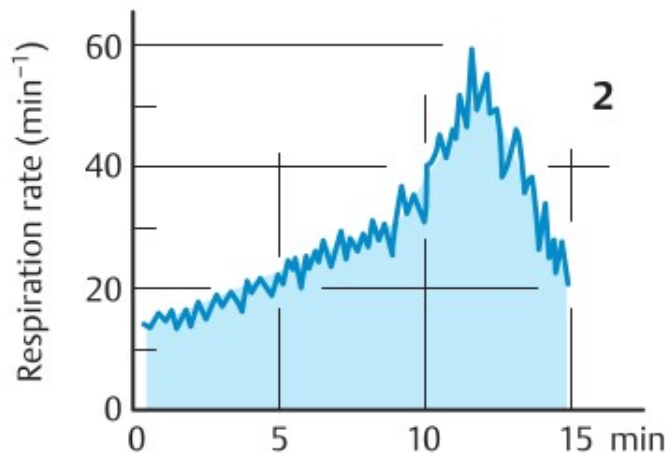
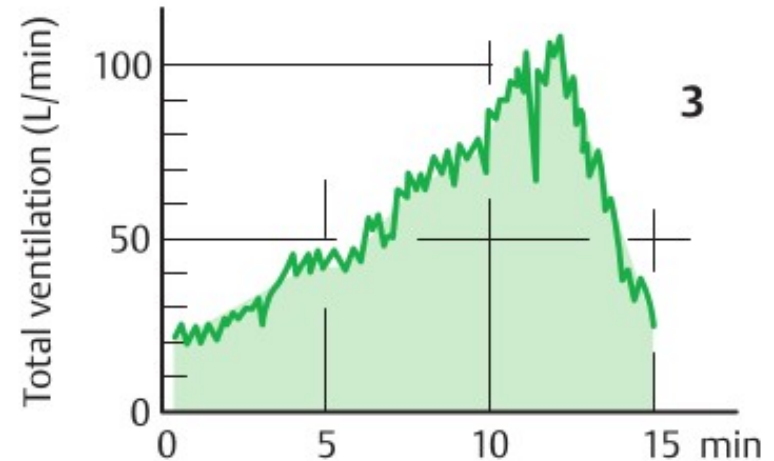
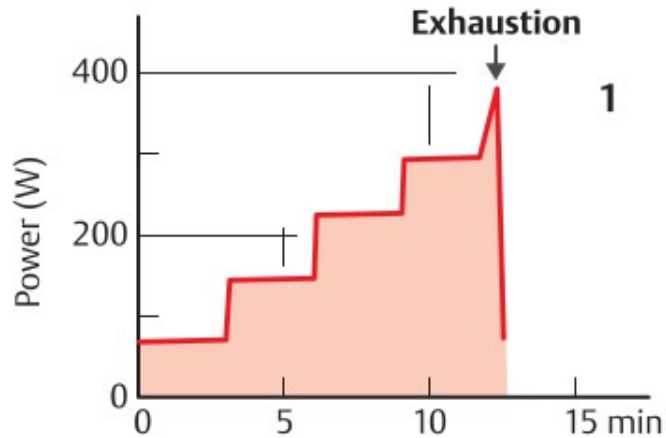
Relazione forza-velocità.

Sforzo muscolare



Cosa accade durante l'attività fisica.

Sforzo muscolare



Cosa accade durante l'attività fisica.

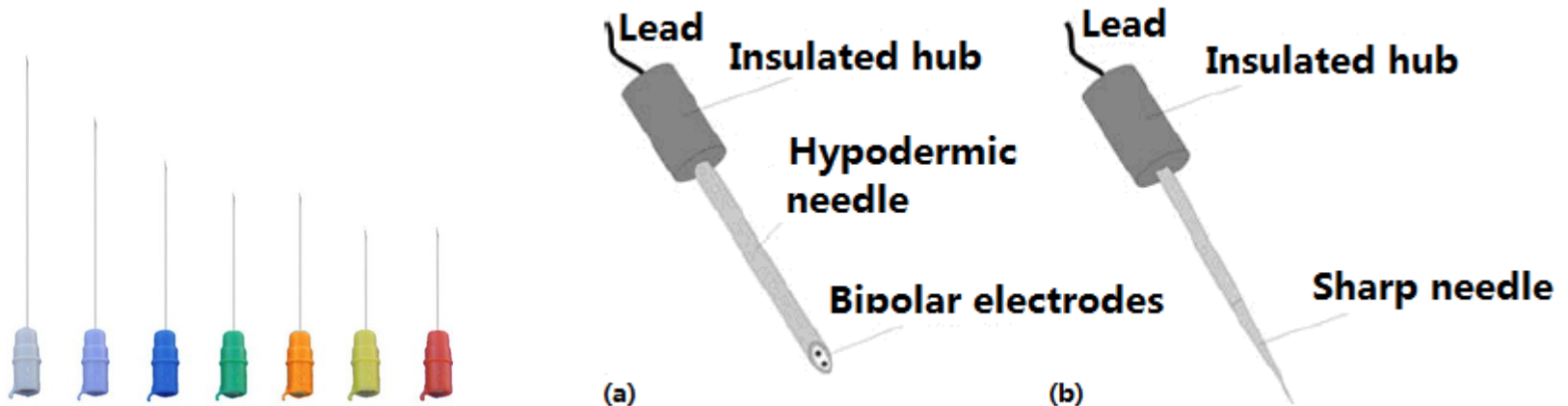
Elettromiogramma

Il potenziale evocato da ciascuna fibra dell'SMU ha una forma a 3 fasi di breve durata (3-15 ms) ed ampiezza fra 20 e 20.000 μV (a seconda della dimensione). La frequenza di scarica varia fra 6 e 30 volte al secondo.

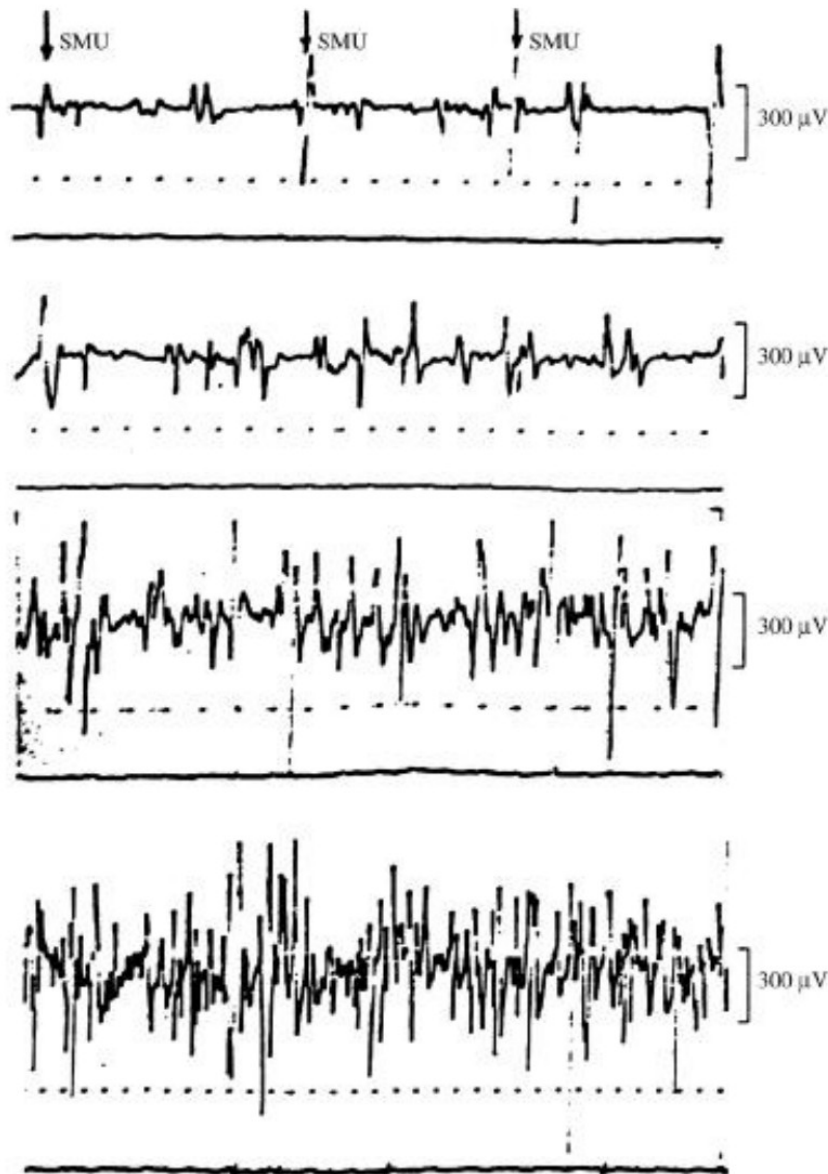
Elettromiogramma

Gli elettrodi superficiali hanno due limitazioni: si adattano solo a muscoli superficiali e rilevano potenziali su una regione troppo grande.

Per questo per l'EMG si utilizzano vari tipi di elettrodi *insertion-type*, in grado di registrare l'attività da regioni molto localizzate, muscoli profondi ed SMU.



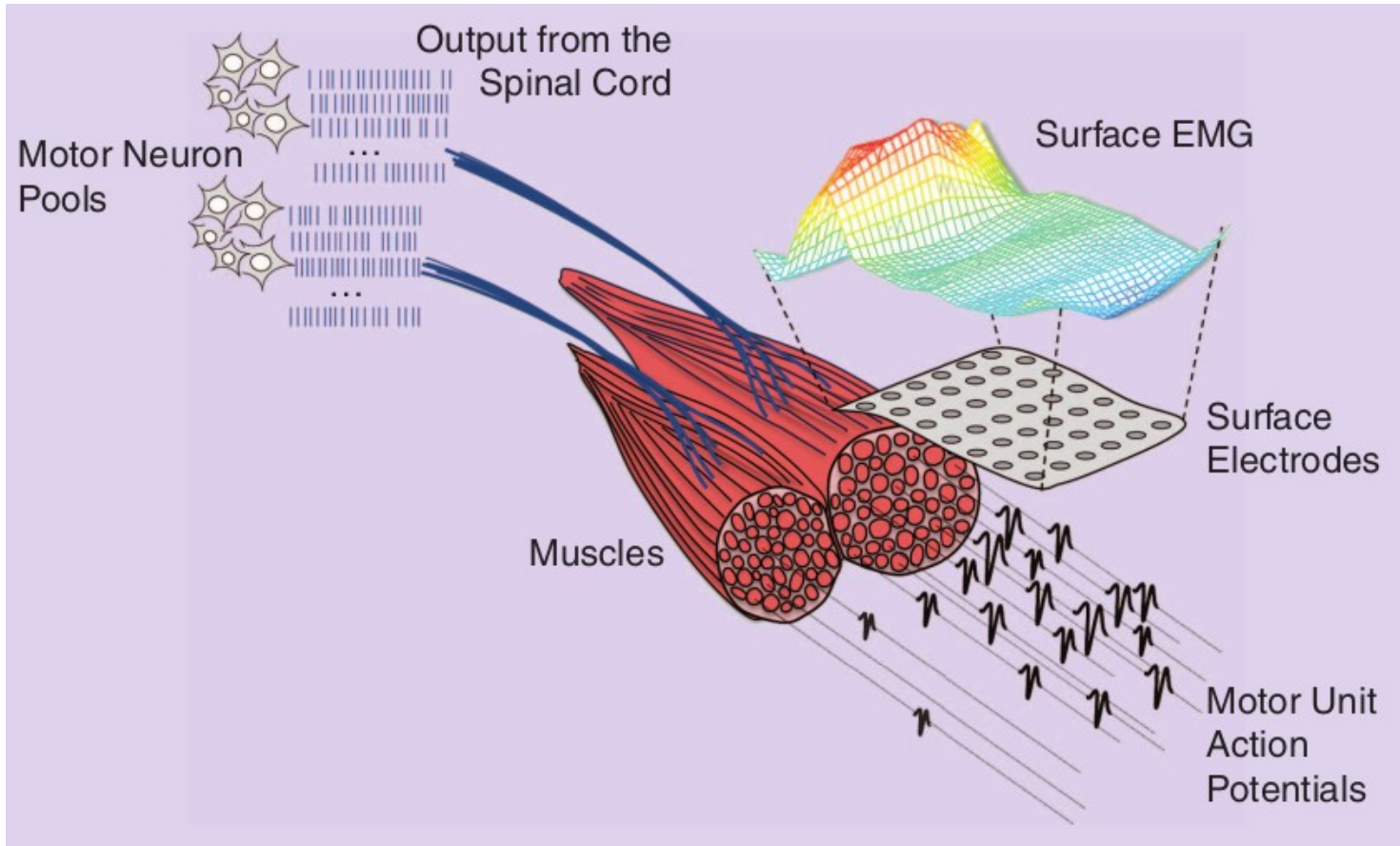
Elettromiogramma



Potenziali d'azione delle unità motorie del muscolo dorsale della mano registrati durante contrazioni di intensità crescente.

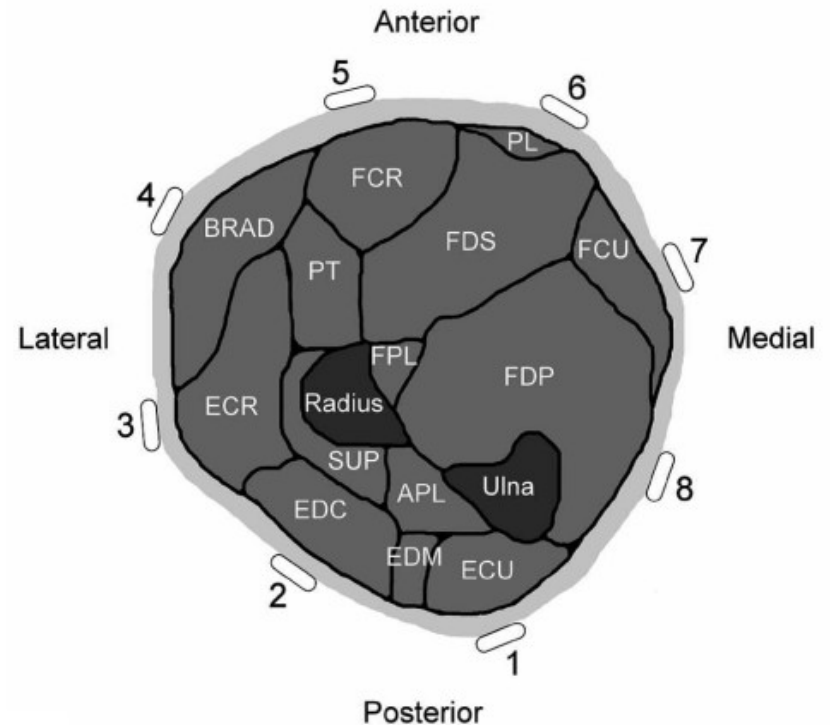
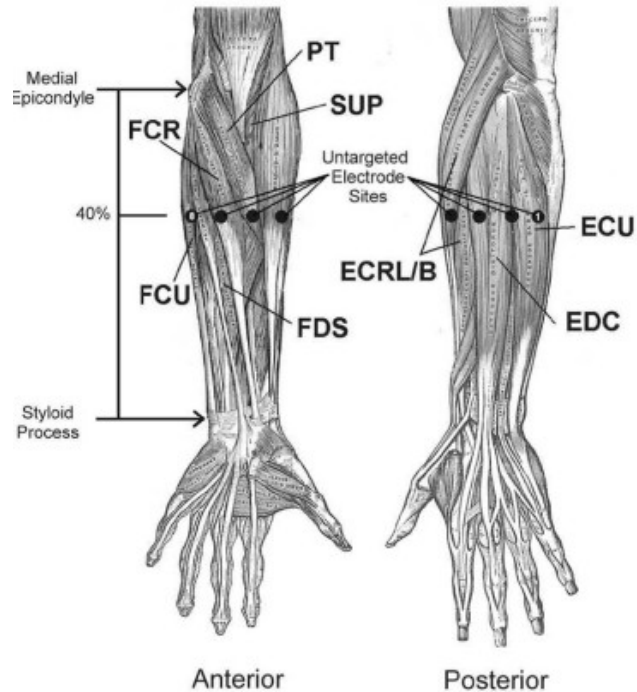


Elettromiogramma



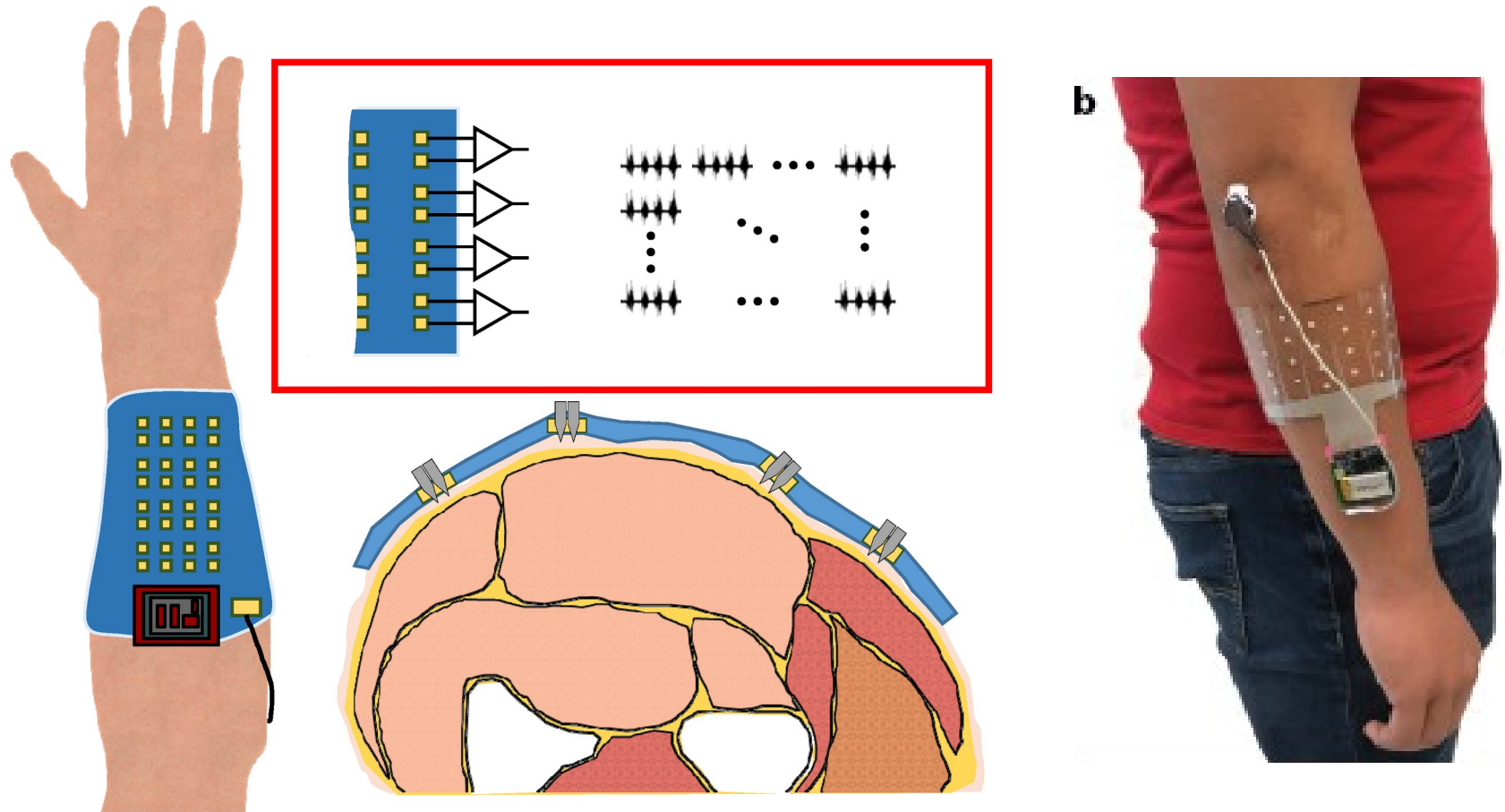
Elettrodo superficiale.

Elettromiogramma



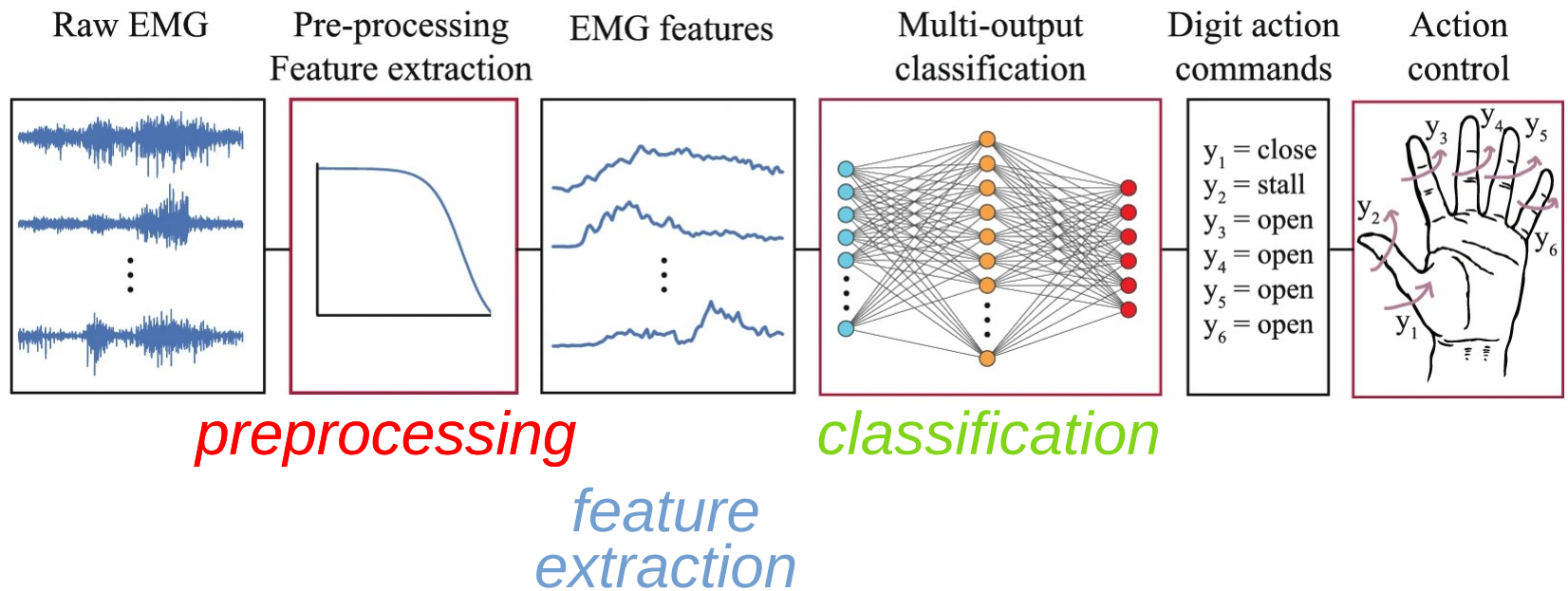
Muscoli dell'avambraccio

Elettromiogramma



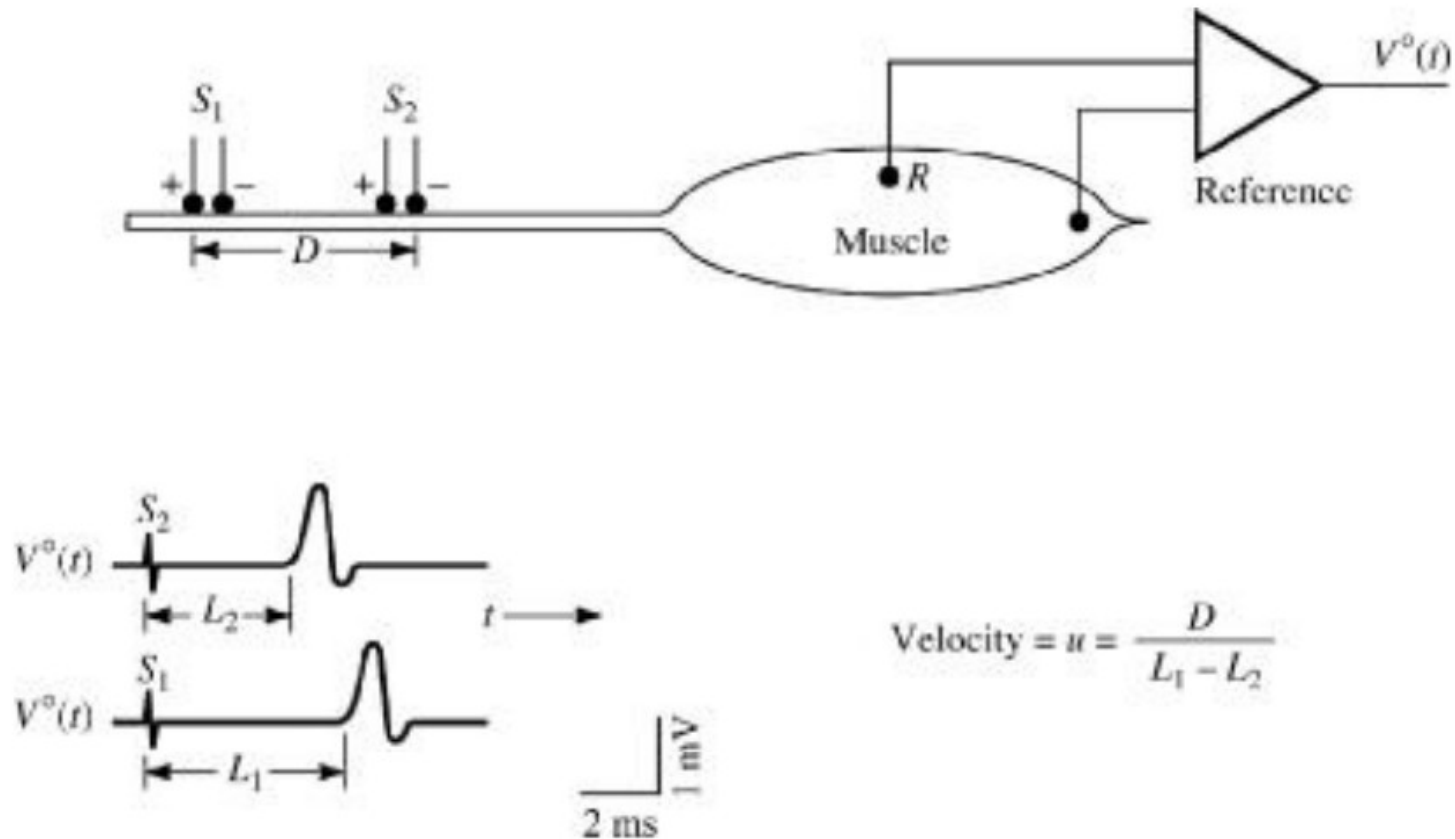
Elettrodi target e non. Array superficiali ad alta densità.

Elettromiogramma



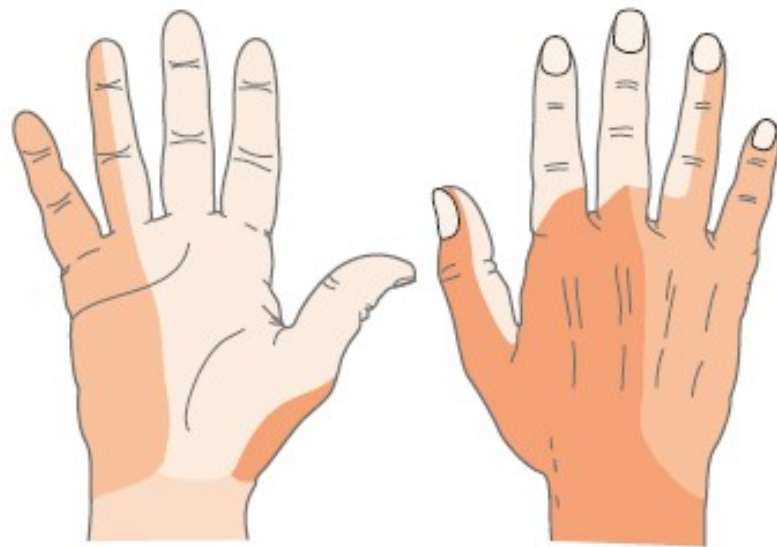
Pattern recognition.

Elettroencefalogramma

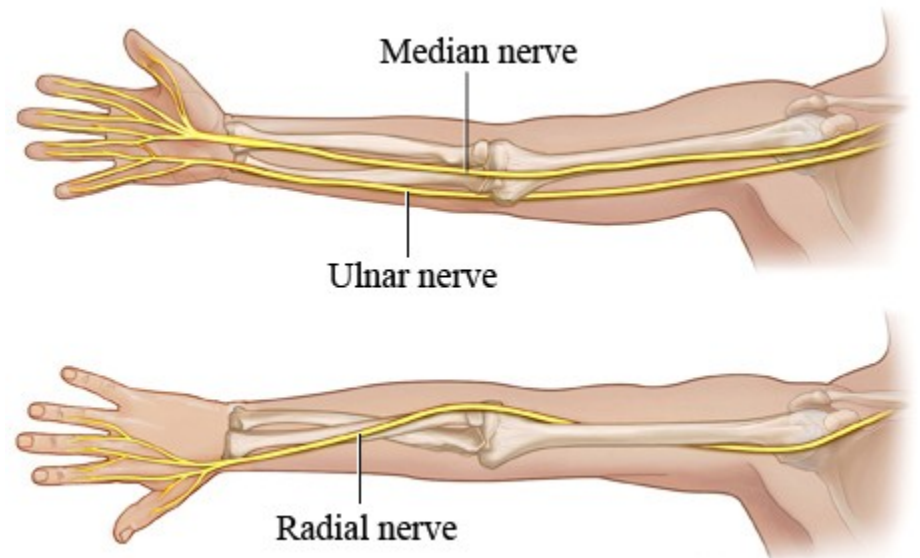


Misura della velocità di propagazione del segnale.

Elettroencefalogramma

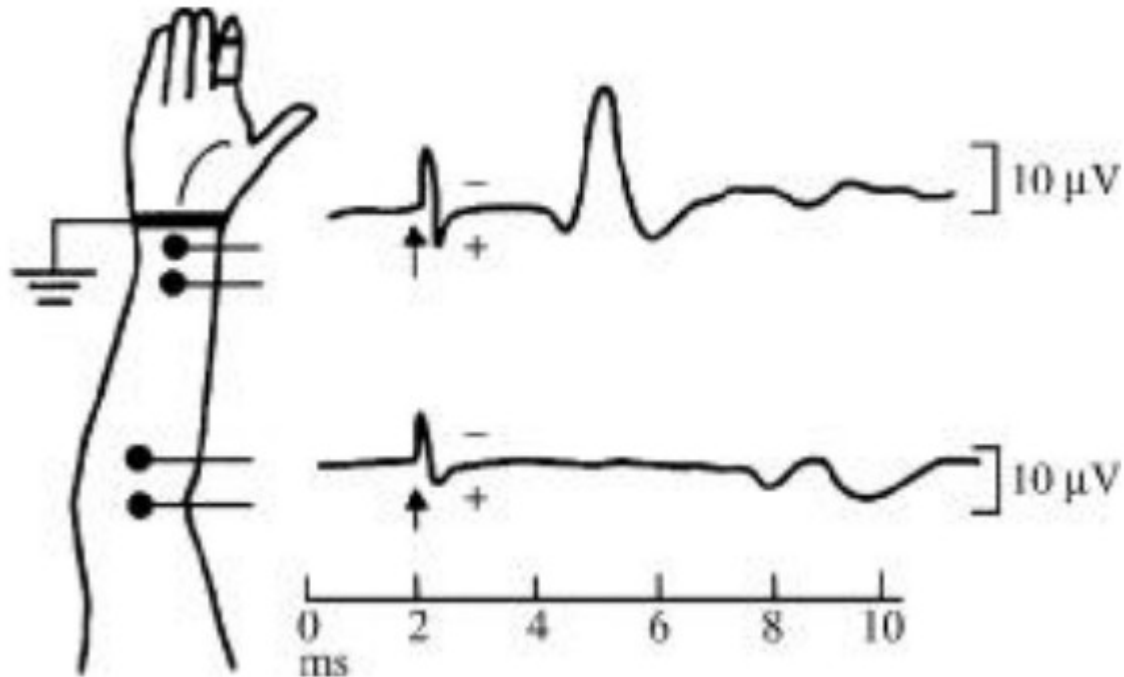


□ Median nerve □ Ulnar nerve □ Radial nerve



© Healthwise, Incorporated

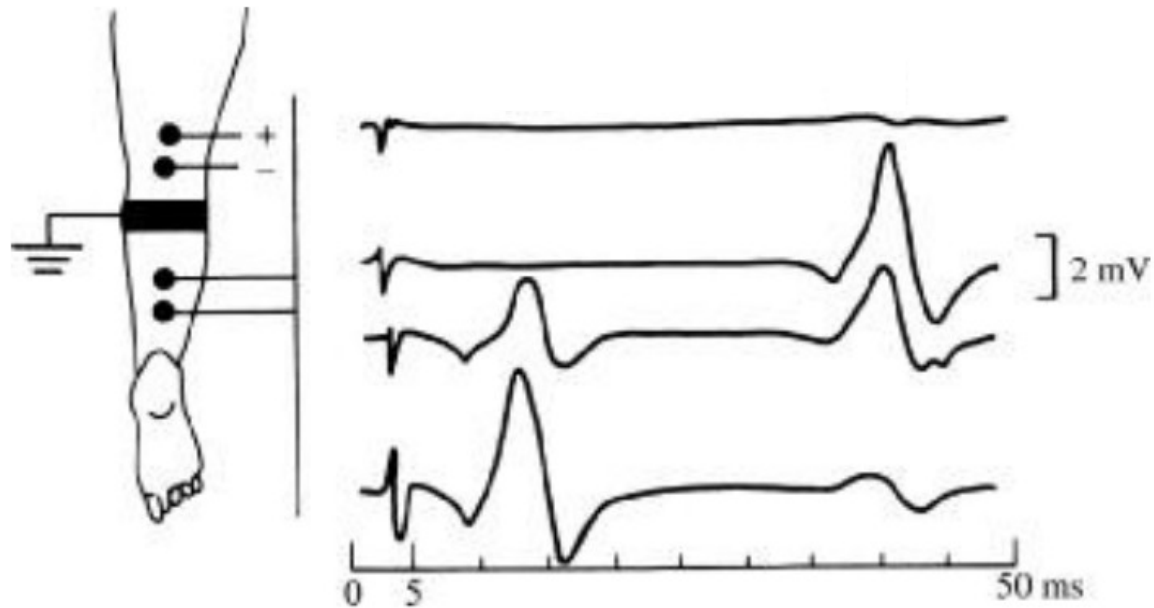
Elettroencefalogramma



Misura del potenziale d'azione del nervo mediano a seguito di stimolazione. Stimoli brevi ma intensi per evitare dolore e contrazioni muscolari.

Misura in 2 punti per valutare velocità ed intensità (profondità diversa del fascio nervoso).

Elettroencefalogramma



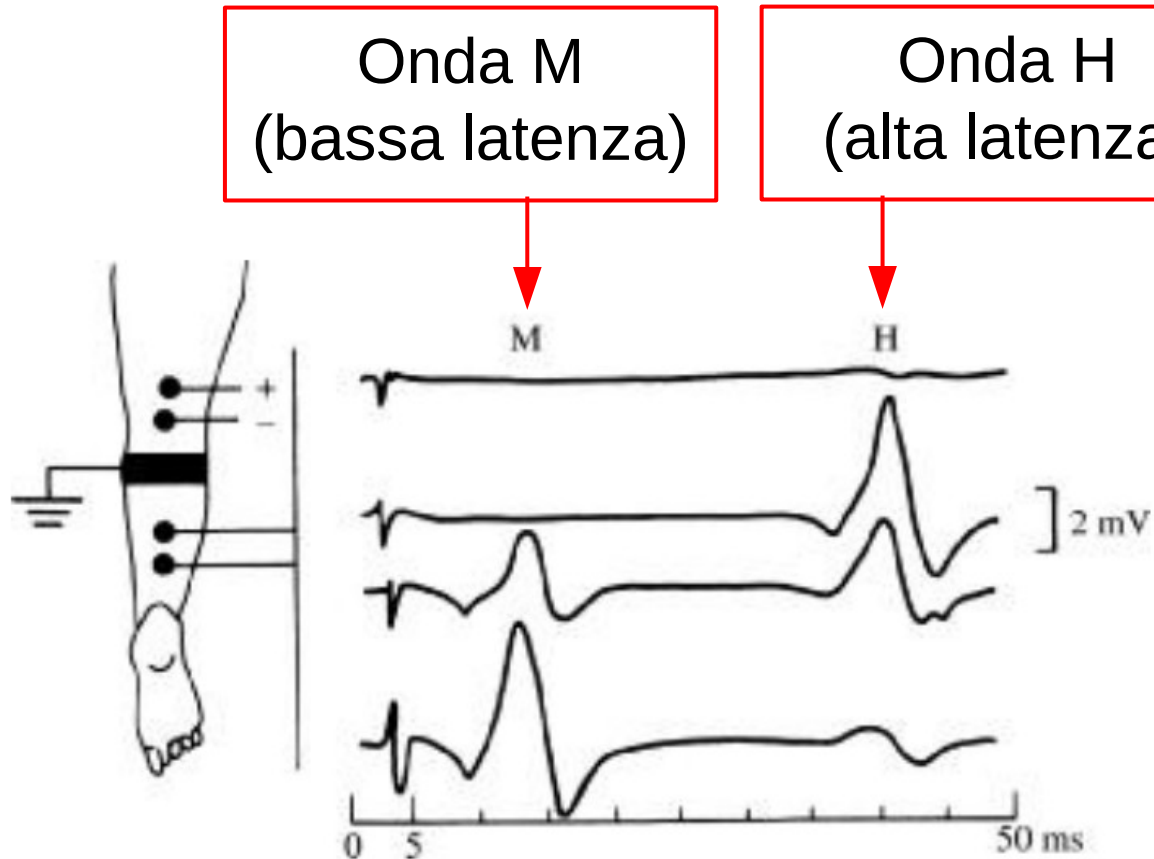
Stimolazione del nervo popliteo mediale.

Elettroencefalogramma

A seguito della stimolazione di un nervo periferico e della registrazione del potenziale di campo evocato, a volte è possibile registrare un secondo potenziale che segue la risposta iniziale.

Più lo stimolo avviene in prossimità del muscolo, più il ritardo del primo potenziale diminuisce, quello del secondo aumenta. Questo fenomeno indica che, per attivare il muscolo, lo stimolo percorre parte del fascio nervoso in direzione del cervello, e poi inverte la propria direzione. Ad esempio, lo stimolo viaggia verso il midollo spinale, producendo un riflesso spinale.

Elettroencefalogramma



Stimoli di differente intensità. Onde M ed H complementari.