

قدرت و توان در ورزش

نویسنده: یوهانس نوث^۱

ترجمه: دکتر اصغر خالدان

دانشگاه تهران - دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی

فهرست:

۲۳	واحدهای حرکتی
۲۳	ساختار و عملکرد اساسی
۲۴	انواع واحدهای حرکتی
۲۵	انواع تارهای عضله انسان
۲۶	تأثیرات عصبی روی خواص واحدهای حرکتی
۲۸	بسیج واحد حرکتی
۲۸	اصل اندازه
۲۹	موارد ویژه مربوط به اصل اندازه
۳۰	منابع و مأخذ

واحدهای حرکتی

ساختار و عملکرد اساسی

شرینگتون^۲ اولین مردی بود که پی برد انقباضهای عضله توسط تحریک نورونهای محرکه^۳ واقع در نخاع شوکی انجام می‌شود. نامبرده عبارت واحد حرکتی^۴ را برای ماهیت ساختاری که شامل نرون محرکه، آکسون حرکتی و تارهای عضله است و توسط نرون محرکه تغذیه می‌شوند، مورد استفاده قرار داد (شکل ۷-۲). تعداد تارهای عضله متعلق به یک واحد حرکتی مفرد، می‌تواند از ۱۰-۵ تا بیش از ۱۰۰ تار متغیر باشد. به عنوان یک قاعده کلی، عضلات کوچک که اعمال دقیق دارند، مانند عضلات داخلی دست، مرکب از واحدهای حرکتی دارای تارهای عضلانی اندکی هستند؛ در حالی که عضلات تنه و اندامهای نزدیک بدن، شامل واحدهای حرکتی با تعدادی بیشتری از تارهای عضلانی

است. تارهای عضله یک واحد حرکتی مفرد، مقادیر متفاوتی از بخش عرضی یک عضله را اشغال می‌کند. در عضله دوسر بازویی انسان، یک واحد حرکتی مفرد، قطری در حدود ۱۰ الی ۱۵ میلیمتر دارد (شکل ۲). تارهای عضلانی از واحدهای حرکتی مختلف با یکدیگر ترکیب شده‌اند. علاوه بر فواید فیزیکی آنها، چنین همپوشانی دلالت بر ذخیره انرژی یک عضله دارای کشش طبیعی^۵ به هنگام انقباضات زیر بیشینه طولانی دارد، زیرا سبب بهبود نسبت بین تارهای عضلات فعال و مویرگها در یک برش معین عضله می‌شود.

تحریک یک نرون محرکه مفرد سبب انقباض همه تارهای عضله متعلق به واحد حرکتی مربوط به آن می‌شود. این عمل در چندین مرحله به انجام می‌رسد. پتانسیل عمل

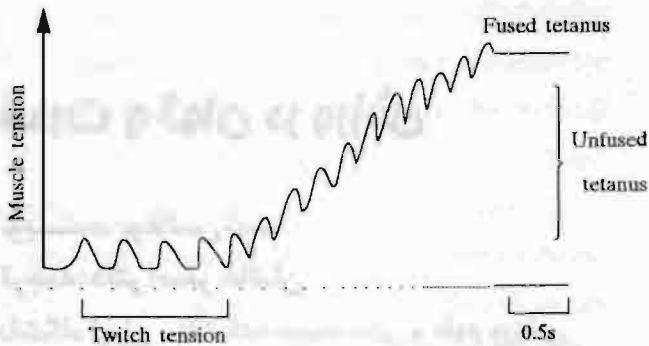
1. Johannes Noth

2. Sherington

3. Motoneurons

4. Motor Units

5. Tonic

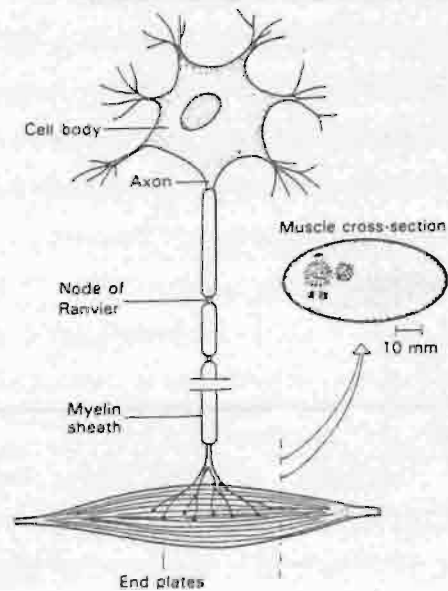


شکل ۲ - نشان رمز (کد) گزاری سرعت نیروی عضله - با گسترش نیروی ایزومتریکی یک تار حرکتی هنگام تحریک الکتریکی و بالا بردن سرعت فزاینده در سرعت‌های پایین تحریک، تکانه‌های مفردی ایجاد شده‌اند. کزاز ترکیب نشده در سرعت‌های بین ۷ و ۱۰ HZ شروع به گسترش می‌کند و در سرعت‌های بین ۲۰ و ۳۰ HZ به کزاز ترکیب شده تبدیل می‌شود که بستگی به نوع واحد حرکتی دارد (بوچال^۱، ۱۹۴۲).

انتقال محرک از اکسون به عضله توسط یک عامل اطمینان بالا به وقوع می‌پیوندد. حوادث ایجاد شده بین تحریک تار عضله و نتیجه انقباض به عنوان «جفت شدن تحریک - انقباض»^۲ نامگذاری شده است. این اصطلاح به طور خلاصه، شامل هجوم دیپلاریزاسیون به سوی تار عضله از طریق دستگاه مجاری عرضی، آزاد شدن کلسیم به داخل میوپلاسم و ایجاد سُر خوردن الیاف اکتین و میوزین بعدی و در نهایت، سبب عمل عضله می‌شود.

انواع واحدهای حرکتی

تنش توسعه یافته توسط یک واحد حرکتی در پاسخ به یک پتانسیل عمل مفرد که به پایانه‌های اکسون نفوذ می‌کند، «تکان»^۳ نامیده می‌شود. تنش تکان تحت شرایط ایزومتریکی اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که فرکانس شلیک افزایش



شکل ۱ - ویژگی‌های اصلی یک واحد حرکتی - تنه یاخته در پایه مغز یا در نخاع شوکی قرار گرفته است. اکسون در امتداد اعصاب محیطی به سوی عضله پیش می‌رود. پایانه‌های اکسون بدون میلین با تارهای عضله از طریق صفحه محرکه به صورت تک به تک تماس برقرار می‌کند. انتقال دهنده شیمیایی آزاد شده در صفحه محرکه عبارت از استیل کولین است. تارهای عضله متعلق به یک واحد حرکتی، مقدار معینی از برش عرضی یک عضله را اشغال می‌کند. برای نمونه، عضله دوسر بازویی در سمت راست آورده شده است. هر نقطه نماینده یک تار حرکتی است.

نرون محرکه در سراسر اکسون میلین دار بر اساس قانون همه یا هیچ به سوی عضله هدایت می‌شود. در صفحه محرکه (سیناپس بین پایانه‌های اکسون و تارهای عضله)، پتانسیل عمل سبب آزاد شدن استیل کولین (Ach) از پایانه‌های پیش سیناپسی می‌شود. استیل کولین به گیرنده‌های ویژه‌ای از غشای زیر سیناپسی تار عضله می‌چسبد. این واکنش سبب دیپلاریزاسیون غشای تار عضله می‌شود. از آن جا که ناحیه صفحه محرکه در بخش مرکزی تار عضله قرار گرفته است، لذا پتانسیل عمل از هر دو جهت به طرف مناطق قطبی تار عضله با سرعت حدود ۲ تا ۵ متر در ثانیه حرکت می‌کنند.

1. Buchthal
2. Excitation - Contracting Coupling
3. Twitch

انواع تارهای عضله انسان

در عضلات انسان، دستیابی به توصیف مشخصات واحدهای حرکتی مبتنی بر خواص فیزیکی، کار مشکلی است و در بیشتر مطالعات بافت شیمی مورد استفاده قرار گرفته است: تارهای عضله نوع I که سطوح بالای فعالیت ATPase (رنگ آمیزی در PH ۴ و ۹) دارند و سطوح پایین سوکسینیک دهیدروژناز^۷ (SDH) و تارهای نوع II که الگوی معکوس آنزیمها را نشان می‌دهند. در عضلات تمرین کرده طبیعی انسان، تقسیماتی روشن و صریح در رنگ آمیزی (ATPase) وجود دارد که طبقه‌بندی را بدون ابهام می‌سازد. تارهای نوع I مطابق با واحدهای نوع S (طبقه‌بندی بارک) است، در حالی که تارهای نوع II در عضلات سریع، حساس به خستگی یافت می‌شود و لذا توسط واحدهای نوع FF تغذیه می‌شود.

هنگامی که برشی از عضلات انسان از قبل در اسید قرار داده شده باشد، رنگ آمیزی (ATPase)، گروههای فرعی بیشتری از تارهای عضله تند انقباض (نوع II) را ظاهر می‌سازد و طبقه‌بندی زیر می‌تواند انجام شود:

نوع I: تارهای کند انقباض، مقاوم خستگی، حاوی گلیکوزن، و میتوکندری زیاد. جهت تولید نیروی زیاد و سطح پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. ذخیره انرژی از طریق تراکم مویزگی در عضلات قرمز تأمین می‌شود.

نوع II A: تارهای تند انقباض، مقاوم خستگی. دارای سطح گلیکولیتی و آنزیم اکسیداتیو بالا. متناسب جهت بازده نیروی طولانی و نسبتاً بالا.

نوع II B: تارهای تند انقباض، حساس به خستگی. حاوی گلیکوزن زیاد و میتوکندری پایین. ذخیره انرژی کوتاه

می‌یابد، یکی شدن تکانه‌ها بین ۷ و ۱۰ تکانش در ثانیه شروع به ظاهر شدن می‌کند. با افزایش سرعت شلیک، تنش بیشتر و بیشتری با هم ترکیب، و در فرکانس معینی، کاملاً با هم ترکیب می‌شوند (شکل ۲). اندازه گیری متغیرهای این انقباض نشانگر آن است که تفاوت‌های چشمگیری بین واحدهای حرکتی - حتی واحدهای حرکتی متعلق به یک عضله - وجود دارد. از سوی دیگر، تارهای عضله یک واحد حرکتی معین، نشان‌دهنده خواص فیزیکی، بیوشیمیایی و ساختار نامرئی مشابهی هستند که اهمیت نرون حرکتی در کنترل این متغیرها را نشان می‌دهند. در حدود ۶۰ سال قبل - «دنی و براون»^۱ (۱۹۲۹) پی بردند که نرونهاي محرکه دارای آستانه بازتابی پائین، واحدهای حرکتی را در عضلات قرمز کند انقباض خستگی ناپذیر عصب‌رسانی می‌کنند؛ در حالی که نرونهاي محرکه دارای آستانه بالا، واحدهای عضلانی را در عضلات سفید تند انقباض خستگی پذیر عصب‌رسانی می‌کنند. از آن پس، خواص فیزیولوژیکی هم‌چون سرعت کوتاه شدن، گسترش نیرو و استقامت در بسیاری از عضلات و گونه‌های مختلف، به منظور طبقه‌بندی واحدهای حرکتی مورد مطالعه قرار گرفت. امروزه، طبقه‌بندی بارک^۲ (۱۹۸۱) به نحو گسترده‌ای مورد قبول فیزیولوژیست‌هاست^۳ بر اساس این طبقه‌بندی که از مدل حیوانات و بر پایه سرعت و حساسیت انقباضی نسبت به خستگی هنگام یک کزاز ترکیب شده، گسترش یافته است، می‌توان ۳ نوع واحد حرکتی مشخص کرد: ۱) تند انقباض، حساس به خستگی (FF)^۴؛ ۲) تند انقباض، مقاوم در برابر خستگی (FR)^۵؛ ۳) کند انقباض (S)^۶، که نسبت به خستگی بسیار مقاوم است. واحدهای حرکتی نوع FF غالباً در عضلات سفید است؛ در حالی که عضلات قرمز دارای واحدهای حرکتی نوع S می‌باشند. عضله دوقلوی ساق پا دارای ۳ نوع واحد حرکتی است و مشخصات نمونه تولید نیروی این واحدهای حرکتی در شکل ۳ به تصویر درآورده شده است.

1- Denny - Brown

2. Burke

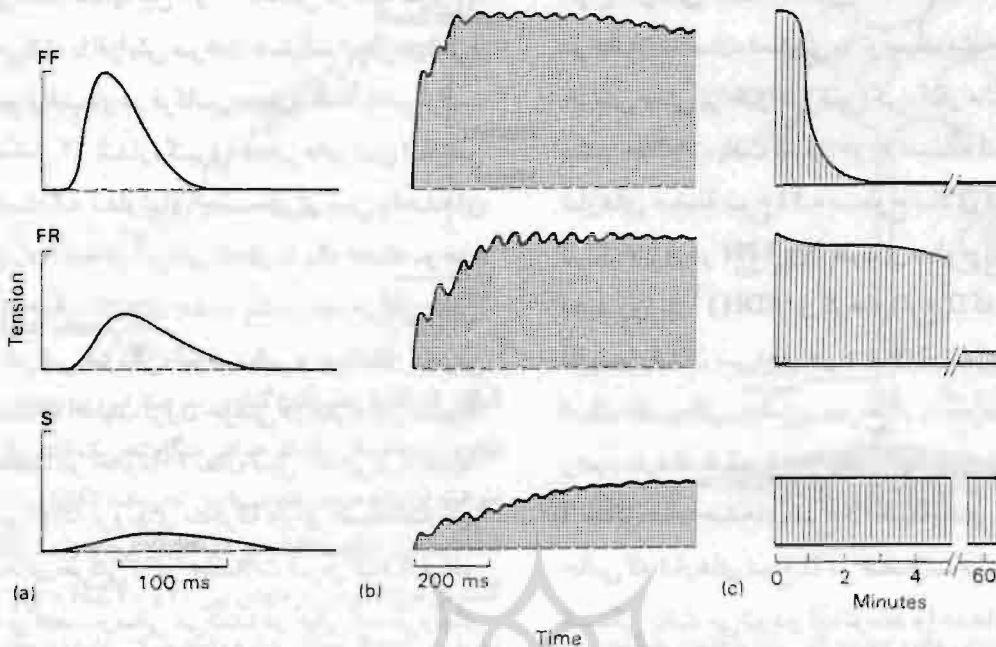
3. Kern Ell - 1986

4. FAST TWITCH , FATIGUE - SENSITIVE (FF)

5. FAST TWITCH , FATIGUE RESISTANI (FR)

6. SLOW TWITCH (S)

7. Succinic DEHYDROGENASE (SDH)



شکل ۳- نمودارهایی از گسترش تنش ایزومتریکی نمونه سه نوع واحد حرکتی (S, FR, FF) به صورتی که در عضله دوقلوی گربه یافت شده است. (a) تنش انقباضی؛ (b) کزاز ترکیب نشده که توسط تحریکات تمرین ۲۰ مرتبه در ثانیه ایجاد شده؛ (c) منحنی انقباض ایزومتریکی بیشینه که توسط تحریکات تمرینی ۴۰ مرتبه در ثانیه، به مدت ۳۳۰ هزارم ثانیه و تکرار ۱/۰ ثانیه ایجاد شده است. به نیروی انقباضی بزرگ در واحد FF، ساخت آهسته نیروی کزاز در واحدی و بازگشت سریع در تنش بین ۲ میلیمتر در واحد FF توجه شود. واحد FR به صورت متوسطی عمل می‌کند (از بارک^۱ و همکاران ۱۹۷۱).

آزمودنیهای تمرین نکرده انسانی، بین افراد تفاوتی وجود دارد. (لکسل^۳ و همکاران، ۱۹۸۳). ترکیب این تارها و خواص سوخت و سازی آنها نیز بین مردان و زنان متفاوت است (کومی و کارلسون^۴، ۱۹۷۸؛ هنریکسون - لارسن^۵، ۱۹۸۵). هر گونه بحثی پیرامون اثرات تمرین روی متغیرهای تار عضله باید این تفاوتها را مورد توجه قرار دهد.

تأثیرات عصبی روی خواص واحدهای حرکتی

عضله منقطع پستانداران در طول دوره پس از تولد از قرمز (آهسته)، سفید (سریع) یا مخلوط متمایز می‌شوند. این وجه

زمان از طریق گلیکوز. متناسب تولید نیروی زیاد تناوبی در هنگام سرعتهای خیلی زیاد.

نوع II C: تارهای حد واسط بین نوع I و II که از نظر بافت شیمی با هر دوی ضدمیوزینهای تند انقباض و کند انقباض و اکشن نشان می‌دهد.

باید تأکید شود که همبستگی بین بافت شیمی و متغیرهای انقباضی، با توجه به تعداد آزمایشهای کم انجام شده روی واحدهای حرکتی انفرادی در انسان که بطور مستقیم قابل مقایسه با آزمایشهای انجام گرفته روی حیوان است، عمدتاً غیرمستقیم می‌باشد (برای نمونه گارنت^۲ و همکاران، ۱۹۷۹ ملاحظه شود). نتایج این آزمایشها قطعی نیست. همچنین قابل توجه است که از نظر بافت شیمی تارهای عضله

1. Burke

2. Garnett

3. Loxell

4. Komi and Karlsson

5. Henriksson - Larsen

خواص انقباض و بافت شیمی عضله نازک نی دراز گربه اخیراً توسط «کرنل»^۸ (۱۹۹۰) توضیح داده شده است. نکات عمده آن به شرح زیر است:

۱- تحریک مزمن، ترکیب تار عضله مخلوط پای عقب گربه را به صورت یک عضله آهسته دارای ATPase میوزین همجنس و تارهای عضله به رنگ «نوع اول» تغییر می‌دهد. این عمل حتی با سرعتهای تند و ناگهانی ۱۰۰ Hz به دست می‌آید. اثرات مذکور حتی با یک الگوی تحریکی که تنها ۱/۵٪ از دوره ۲۴ ساعته را تشکیل می‌دهد، ظاهر شده‌اند.

۲- سرعت یک تکان ایزومتریک مستقل از الگوی تحریکی به کار رفته، بنحو چشمگیری کند می‌شود (شکل ۴).

۳- نیروی کزازی بیشینه متعاقب مقدار قابل ملاحظه تحریک روزانه کاهش می‌یابد. این عمل، بخشی به دلیل چروکیده شدن قطر تار حادث می‌شود. جهت حفظ نیروی بیشینه و اندازه تار، تحریک با فرکانس بالا ضروری است.

۴- پایداری در برابر خستگی، بهبودی حاصل می‌کند. تحریک شدید و مزمن بنحوی که هنگام آزمون خستگی اندازه گیری می‌شود نیز با تنزل EMG مقابله می‌کند. این اثرات، همبستگی محکمی با یکدیگر ندارند.

«کرنل» (۱۹۹۰) نتیجه می‌گیرد که عوامل غیر عصبی هنگام دوره تکامل نطفه «... دامنه سازگاری که در آن خواص عضله افراد بالغ ممکن است به واسطه اثرات استفاده دراز مدت هماهنگ شود.» جهت تمرین دادن عضله در انواع برنامه‌های ورزشی این یافته‌های تجربی دو دلیل عمده دارد: اول، تبدیل یک عضله آهسته به یک عضله سریع توسط برنامه‌هایی که متضمن اعمال بیشینه کوتاه زمان عضله می‌باشند. احتمالاً توسط کاربرد طبیعی روزانه این عضلات در فعالیت‌های با

تمایز مبتنی بر تعامل تغذیه‌ای و نور فیزیولوژیکی بین نرونهای محرکه و تارهای عضله است. آزمایش کلاسیک که نشان دهنده اهمیت نرونهای محرکه به منظور بیان خواص انقباضی یک عضله است، توسط بالر^۱ و همکاران (۱۹۶۰) انجام شد. در پاهای عقب گربه، دوباره عصب‌رسانی متقاطع و اتصال عصب به عضله آهسته نعلی و عضله سریع تاکننده مشترک دراز، خواص انقباضی عضلات عصب‌رسانی شده را تغییر داد. عضله سریع خواص عضله آهسته قبلی و بعکس. عضله آهسته خواص عضله سریع به دست آورد. مطالعات متعدد بعدی، یافته‌های اولیه را مورد تأیید قرار داد (برای نمونه «دوبوویتز»^۲ ۱۹۶۷ ملاحظه شود). در حال حاضر، کاملاً ثابت شده است که نه تنها خواص بیوشیمیایی تغییر می‌پذیرد بلکه بسیاری از تفاوت‌های بافت شیمی، میتوکندری و ساختی بین عضلات سریع و آهسته تحت تأثیر کنترل عصبی قرار گرفته‌اند. به عنوان یک قاعده کلی، تغییر ماهیت از یک عضله سریع به عضله آهسته متعاقب دوباره عصب‌رسانی متقاطع، به مراتب آسانتر از عکس آن به دست می‌آید (دام^۳ و همکاران، ۱۹۸۵).

تحقیقات حرکت شناسی نشانگر آن است که الگوی فعالیت نرون محرکه در هنگام حرکات محدود نمی‌شود و با عصب‌رسانی دوباره اکسونهای حرکتی، عضلات خارجی از نظر کیفی بدون تغییر می‌مانند («دونوان»^۴ و همکاران، ۱۹۸۵). لذا تغییر ماهیت می‌تواند به علت عوامل تغذیه‌ای و یا توسط الگوی فعالیت ویژه نرونهای محرکه انجام شود. این مسئله از طریق تحریک شدید و مزمن اعصاب عضله، نظارت و راهنمایی می‌شود، که بنحو قانع کننده‌ای اثر قوی الگوهای استفاده از واحدهای حرکتی روی خواص فیزیولوژیکی، آنزیمی و ساختار نامرئی تارهای عضله و حتی روی تکثیر ژنی آنها نشان داده شده است. (جهت بررسی سالمون و هنریکسون^۵، ۱۹۸۱، پت و وربووا^۶، ۱۹۸۵، برونسون^۷ و همکاران، ۱۹۸۱ ملاحظه گردد). شرح جزئیات مطالعات مربوط به مقدار و الگوی فعالیت تحریک عصبی مزمن روی

1. Buller

2. Dobowitz

3. Dum

4. DoNovan

5. Salmon and Henriksson

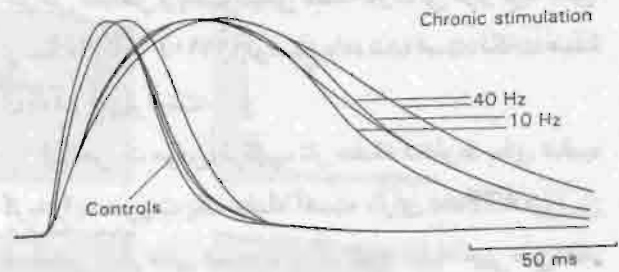
6. Pette and verbova

7. Brownson

8. Kernell

بسیج واحدهای حرکتی دارای آستانه بالاتر درجه بندی شود، بسیج واحدها از قانون معینی تبعیت می کند که برای اولین بار توسط «هنیمن»^۳ و همکاران کشف شد و به عنوان یکی از معتبرترین قوانین زیست شناسی دستگاه عصبی، یعنی اصل اندازه^۴ وضع شده است (هنیمن و همکاران، ۱۹۶۵). این موضوع بیان کننده آن است که هنگام فعالیت بازتابی نرونهاي محرکه، آنهایی که نوکهای کوچکتری دارند (ولداکوچکترین تنه های یاخته ای دارند) دارای پایین ترین آستانه و بزرگترین یاخته ها دارای بالاترین آستانه می باشند. به عنوان یک قانون، نرونهاي محرکه دارای نوک کوچک، واحدهای حرکتی که دارای بازده نیروی کم می باشند را عصب رسانی کرده است؛ در حالی که نرونهاي محرکه با نوکهای بزرگ مقدار زیادی تنش تولید می کند. لذا، قانون هنیمن بین آستانه بسیج و تنش تکانی همبستگی مثبتی را تخمین می زند. نشان داده شده که این موضوع در هر دو عضلات حیوان و انسان صادق است. مثالی از این رابطه در شکل ۵ در مورد اولین عضله بین استخوانی خلفی^۵ انسان آورده شده است.

نشان داده اند که اندازه تنه سلولی نرون محرکه به طور مثبت با بسیاری متغیرهای دیگر، همچون قطر و تنه هدایت آکسون و کنداکتانس^۶ درونداد زمان استراحت نرون همبستگی دارد (کرنل ۱۹۸۳). نرونهاي محرکه بزرگ، تارهای عضله خستگی - حساس، در حالی که نرونهاي کوچک تارهای عضله خستگی - مقاوم را عصب رسانی می کنند (جهت بررسی اشمال بروج و بوچال^۷، ۱۹۸۰، فراند^۸، ۱۹۸۳؛ کرنل، ۱۹۸۶، ملاحظه شود). بعلاوه، این موضوع بنحو مطلوبی مورد تأیید است که اصل اندازه نیرو در مورد بسیاری از انواع اعمال عضله صدق می کند. قاعده ثابتی



شکل ۴- دوره زمانی تنش تکانی ایزومتریک ۴ عضله نازک نی دراز طبیعی (چپ) و ۴ عضله نازک نی تحمیل شده با تحریکات عصبی مزمن در گربه (راست). الگوی تحریکی بنحوی که نشان داده شده است، شامل شلیکهای ۱ ثانیه ای ۱۰ HZ یا ۲۰ HZ است، که توسط فواصل ۱ ثانیه ای قطع شده است و ۵۰٪ کل زمان را در بر می گیرد. تحریک ۲۴ ساعت در هر روز در طول دوره ۸ هفته ای - قبل از اینکه نتایج انقباضهای آزمون استخراج شود - به کار رفته بودند. به بی تأثیری میزان تحریک روی دوره تنش تکان توجه شود (اریک^۱ و همکاران، ۱۹۸۱)

قامت راست، به تأخیر می افتد. دوم، تبدیل یک عضله سریع به عضله ای با خواص انقباضی آهسته باید متضمن اعمال بیشینه ای باشد؛ زیرا واحدهای حرکتی خواص تند انقباضی (واحدهای FF) دارند. همچنین آنهایی می باشند که بالاترین آستانه را دارند. یافته تجربی کاهشی در بازده نیرو با مقدار زیادی از استفاده روزانه، یکی از عوامل مهم در این زمینه است.

بسیج واحد حرکتی

اصل اندازه

درجه بندی نیروی درونی یک عضله را می توان به دو طریق انجام داد. هنگامی که میزان تخلیه یک واحد افزایش می یابد، نیروهای تولیدی توسط هر تکانش با هم جمع می شود (کزاز ترکیب نشده)^۲. لذا، بازده نیرو به صورت مثبتی مربوط به میزان تخلیه یک واحد حرکتی در دامنه فرکانس کزاز ترکیب نشده است. علاوه بر اینکه، بازده نیرو ممکن است توسط

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| 1. Eerbeek | 2. Unifused Tetanus |
| 3. Henneman | 4. Size Principle |
| 5. First Dorsal Interosseus | 6. Conductance |
| 7. Schmalbruch and buchthal | |
| 8. Freund | |

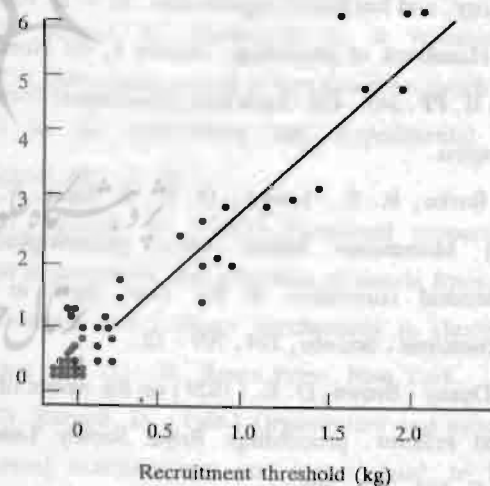
یکی دیگر از شرایط گمراه کننده بررسی بازتاب سریع یا اعمال اختیاری عضله هنگامی است که خلاف نظم بسیج ترتیب یافته به وقوع بپیوندد. با این حال، واضح است که یک سائق برانگیختگی قادر به تخلیه یک بستر ترون محرکه کامل در مدت زمان چند هزارم ثانیه است. با توجه به مسیر پیرامونی طویل اعصاب اندامی انسان این تفاوت ناچیز ممکن است با نادیده گرفتن اختلاف در تاخیر هدایت بین نرونهاى محرکه کوچک و بزرگ برطرف شده و لذا، تحریکات نرونهاى محرکه بزرگ ابتدا به عضله می رسد. هر چند که اصل اندازه پیش بینی تعیین زمان تحریک مرکزی یک واحد حرکتی و نه یک تحریک پیرامونی را می نماید. با وجود این عمل متقابل، نظم مرتبه ای طبیعی، حتی هنگام انقباضهای سریع پرتابی در انسان غالباً حفظ شده است (دیسمد و گوداکس، ۱۹۷۸)

بالاخره، اصل اندازه تنها هنگامی معتبر است که بستر نرون محرکه از نظر عمل همجنس و مشابه باشد. حتی در عضلاتی که به نظر مشابه می رسند، مانند عضله خیاطه^۲ پای گربه و اولین عضله بین استخوان خلفی انگشت پای انسان، گروههای فرعی وابسته به عمل^۵ مربوط به نرونهاى محرکه وجود دارند که از نظر تعیین وزن سیناپسی مرکزی و پیرامونی با هم متفاوتند. تعجبی ندارد که تغییر وضع در فرمان مرکزی یا پیرامونی از یک گروه فرعی به گروه فرعی دیگر می تواند نظم بسیجی معکوسی را نشان دهد.

موارد ویژه مربوط به اصل اندازه

به هر صورت، موارد ویژه ای در اصل اندازه وجود دارد. هنگام حرکات سریع نوع تقلیدی مانند تکان دادن پنجه، واحدهای آستانه بالا^۶ می توانند بدون شلیک واحدهای

از بسیج نرونهاى محرکه هنگام حرکات جابه جایی در گربه (هوفر^۱ و همکاران ۱۹۸۷) و هنگام حرکات پرتابی دست در انسان (دیسمد و گوداکس^۲، ۱۹۷۸) مشاهده شده است. تأکید زیادی روی موارد ویژه نسبت به اصل اندازه شده است؛ هر چند مشخص شده است که در بیشتر موارد در آنها تناقض جدی وجود ندارد. پس از آنکه ثبت EMG توسط سوزنهای ظریف از واحدهای حرکتی منفرد در عضلات انسان هنگام انقباضهای اختیاری ادامه دار معرفی شد، کنار رفتن واحدهای حرکتی که به صورتی تونیکی فعال بوده و بسیج واحدهای تازه قابل مشاهده شد. تعویض (چرخش) مذکور تنها بین واحدهایی با آستانه نیروی مشابه به وقوع می پیوندد. لذا، این حادثه منوط به سازگاری آن دسته از واحدهای حرکتی است که در طول دوره های بی جهت طولانی تخلیه می شوند. به منظور حفظ سطح نیروی روی هدف پس از کنار رفتن یک چتین واحدی، واحد حرکتی دارای بالاترین نیروی آستانه بعدی به صحنه خواهد آمد.



شکل ۵- رابطه بین نیروی تکان واحد حرکتی و آستانه بسیج اولین عضله بین استخوانی خلفی هنگام افزایش در میزان دور کردن انگشت سیاه به طور آهسته. نیروی تکانی هر واحد حرکتی توسط میانگین تحریکات نیزه ای با استفاده از پتانسیل واحد حرکتی به عنوان محرک، اندازه گیری نیرو شده است. همبستگی کاملاً خطی است (ضریب همبستگی $< 0/9$) (از دیسمید^۳، ۱۹۸۱).

1. Hoffer
2. Desmedt and Godaux
3. Desmedt
4. Sartouius Mussle
5. Task - Related Subgroups
6. High Threshold Units

منابع و مأخذ

1. Brownson, C., Isenberg, H., Brown, W., Salmons, S., & Edwards, Y., (1988) Changes in Skeletal muscle gene transcription induced by chronic stimulation. *Muscle and Nerve*, 11, 1183 - 9.
2. Buchthal, F., (1942) the mechanical of the single striated muscle fibre structural interpretation. *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Biologiske Meddelelser*, 17, 1 - 138.
3. Buchthal, R. & Schmalbruch, H. (1980) Motor unit of mammalian muscle. *physiologica Reviews*, 1, 60, 90 - 142.
4. Buller, A. J., Eccles, J. C. & Eccles, R. M. (1960) Interactions between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speeds of their responses. *Journal of physiology*, 150, 417 - 39.
5. Burke, R. E. (1981) Motor units: anatomy, physiology, and functional organization. In V. B. Brooks (ed.) *Handbook of physiology. section I, the Nervous System II*, PP. 345 - 422. American physiological Society, Washington.
6. Burke, R. E., Levine, D. N. & Zajac, F. E. (1971) Mammalian motor units: physiological - histochemical correlation in the three types in cat gastrocnemius. *Science*, 174, 709 - 12.
7. Denny - Brown, D. E. (1929) on the nature of the postural reflexes. *proceedings Royal Society London Series B*, 104, 252 - 301.
8. Desmedt, J. E. (1981) the size principle of motoneuron recruitment in ballistic or ramp - voluntary contractions in man. In J. E. Desmedt (ed.) *progress in*

کوچک آستانه پایین^۱ فعال شوند (اسمیت^۲ و همکاران، ۱۹۸۰). مشاهده دیگری از بسیج معکوس، پاسخ واحدهای حرکتی به تحریکات الکتریکی اعصاب پوستی است (کندا^۳ و همکاران، ۱۹۷۷، گارنت و استفن^۴، ۱۹۸۱). احتمالاً تحت این شرایط اتصالات سیناپسی فعال هستند که از نرونهاي محرکه آستانه بالاتری تشکیل شده است. موضوعی که تاکنون شرح داده نشده است از مشاهده «ناردون»^۵ و همکاران (۱۹۸۹) که نرونهاي محرکه آستانه بالای عضله سه سر باز و طی اعمال اختیاری اکستریک عضله هنگامی بسیج می شود که واحدهای آستانه پایین تر شلیک خود را قطع کنند. این مؤلفین تاکید می کنند که کنترل عمل اکستریک عضله عملی تقریباً ماهرانه تر است و می پندارند که نرونهاي محرکه سریع انبساطی به طور انتخابی از طریق فرمان مرکزی به عمل واداشته می شوند.

مثال دیگری از یک تغییر در تحریک پذیری واحدهای حرکتی هنگام اعمال عضله در حال اجرا اخیراً در میمونهای دست آموز بررسی شده است. بر اساس یافته های اولیه در انسان (دایتز^۶ و همکاران، ۱۹۷۹، ۱۹۸۱). واحدهای حرکتی در انسان، هنگام آمادگی جهت یک حرکت شروع به شلیک می کنند. هنگامی که یک میمون جهت اجرای یک حرکت سریع خم کردن ساعد که توسط یک نور پس از دوره آمادگی تحریک می شود، شلیک واحدهای حرکتی آستانه پایین، هنگامی که واحدهای حرکتی آستانه بالا بسیج شده اند، به طور کامل متوقف می شوند.

صرفنظر از این موارد ویژه، ثابت شده است که اصل اندازه در بیشتر اعمال بازتابی و اختیاری در انسان پابرجا و معتبر است (برای بررسی جدید، THOMAS و همکاران ملاحظه شود). در چهار چوب محدودیتهای این مقدمه بحث پیرامون خواص غشائی و سیناپسی نرونهاي محرکه که به هر صورت جهت درجه بندی سرعت و بسیج نیروهای عضله مهم تلقی می شود، ممکن است.

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. Low Threshold Unit. | 2. Smith |
| 3. Kanda | 4. Garnett and stephens |
| 5. Nardon | 6. Diete |

- clinical Neurophysiology, Vol. 9, Motor Unit Types, Recruitment and Plasticity in Health and Disease, pp. 250 - 304. Karger, basel.
9. Desmedt, J. E. & Godaux, E. (1979) Ballistic contraction in fast or slow human muscles: discharge patterns of single motor unit. *Journal of physiology*, 285, 185 - 96.
10. Dietz, V., North, J., & Schmidtbleicher, D. (1981) Interaction between preactivity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls. *Journal of physiology*, 311, 113 - 25.
11. Dietz, V., schmidtbleicher, D. & North, J. (1979) Neuronal mechanisms of human locomotion. *Journal of Neurophysiology*, 42, 1212 - 22.
12. Dubowitz, V. (1967) Cross - innervated mammalian skeletal muscle: histochemical, physiological and biochemical observations. *Journal of physiology*. 193, 481 - 96.
13. Dum, R. P., ÓDonovan, M. J., Toop, J., Tsairis, P., Pinter, M. J. & Burke, R.E. (1985) cross - reinnervated motor units in cat muscle. II. Soleus muscle reinnervated by flexor digitorum longus motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 54, 837 - 51.
14. Eerbeek, O., Kernell, D. & Vrehey, B. A. (1984) Effects of fast slow patterns of tonic longterm stimulation on contractile properties of fast muscle in the cat. *Journal of physiology*, 352, 73 - 90.
15. Freund, H. J. (1983) Motor unit and muscle activity in voluntary motor control. *physiology Reviews*, 63, 387 - 436.
16. Garnett, R., ÓDonovan, M. J., Stephens, J. A. & Taylor, A. (1979) motor unit organization of human medial gastrocnemius. *Journal of physiology*, 287, 33 -
17. Garnett, R. & Stephens, J. A. (1981) Changes in the recruitment threshold of motor units produced by cutaneous stimulation man. *Journal of physiology*, 311, 463 - 73.
18. Henneman, E. Sojen, G. & Carpenter, D. O. (1965) Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 28, 560 - 80.
19. Henriksson - Larsén, K. (1985) Distribution, number and size of different types of fibres in whole cross - section of femoral. tibialis anterior. An enzyme histochemical study. *Acta physiologica Scandinavia*, 123, 229 - 35.
20. Hoffer, J. A. Loeb, G. E., Marks, E. B., ÓDonovan, M. J., Pratt, C. A. & Sugano, N. (1987) Cat hindlimb motoneurons during locomotion. I. Destination, axonal conduction velocity and recruitment threshold. *Journal of Neurophysiology*, 57, 510 - 73.
21. Kanda, K., Burke, R. E. & Walmsley, B. (1977) Differential control of fast and slow twitch motor units in the decerebrate cat. *Experimental Brain Research*, 29, 57 - 74.
22. Kernell, D. (1983) Functional properties of spinal motoneurons and gradation of muscle force. In J. E. Desmedt (ed.) *Motor Mechanisms in Health and Disease*, pp. 231 - 26. Raven Press, New York.
23. Kernell, D. (1986) Organization and properties of spinal motoneurons and motor units. In H. J. Freund, U. Büttner, B. Cohen & J. Noth (eds) *Progress in Brain Research*, Vol. 64, pp. 21 - 30. Elsevier Science publish, Amsterdam.
24. Kernell, D. (1990) Spinal motoneurons and their muscle fibers: mechanisms and long term consequences of common activation patterns. In M. D.

Binder & L. M. Mendell (ed) the segmental motor system, pp. 36 - 57. Oxford University Press, New York, Oxford.

25. Kernell, D. & Hultborn, H. (1990) synaptic effects on recruitment gain: a mechanism of importance for the input-output relations of motoneurone pools? *Brain Research*, 507, 176 - 9.

26. Komi, P. V. & Karlsson, J. (1978) Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta physiologica scandinavia*, 103, 210 - 18.

27. Lexell, J., Henriksson-Larsén, K. & sjöström, M. (1983) Distribution of different fibre types in human skeletal muscles. 2. A study of cross-sections of whole m. vastus lateralis. *Acta physiologica scandinavica*, 117, 115 - 22.

28. Mellah, S., Rispal-Padle, L. & Riviere, G. (1990) changes in excitability of motor units during preparation for movement. *Experimental Brain Research*, 82, 178 - 86.

29. Nardon, A., Pomano, C. & Schepati, M. (1989)

selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *Journal of physiology*, 409, 451 - 71.

30. Donovan, M. J., Dum, R. P. & Bruke, R. E. (1985) Kinesiological studies of self and cross-reinnervated FDL and soleus muscles in freely moving cats. *Journal of Neurophysiology*, 54, 852 - 66.

31. Pette, D. & Vrbová G. (1985) Neural control of phenotypic expression in mammalian muscle fibres. *Muscle and Nerve*, 8, 676 - 89.

32. Salmons, S. & Henriksson, J. (1981) the adaptive response of skeletal muscle to increased use. *Muscle and Nerve*, 4, 94 - 105.

33. Smith, J. L., Betts, B., Edgerton, & Zernicke, R. F. (1980) Rapid ankle extension during paw shakes: selective recruitment of fast ankle extensors. *Journal of Neurophysiology*, 43, 612 - 20.

34. Thomas, C. K., Ross, B. H. & Calancie, B. (1987) Human motor unit recruitment during isometric contractions and repeated dynamic movements. *Journal of Neurophysiology*, 57, 311 - 24.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

مجله علمی پژوهشی