

MUSCLE CONTRACTION

ZOOLOGY GENERAL

(Paper G-CC-T-04)

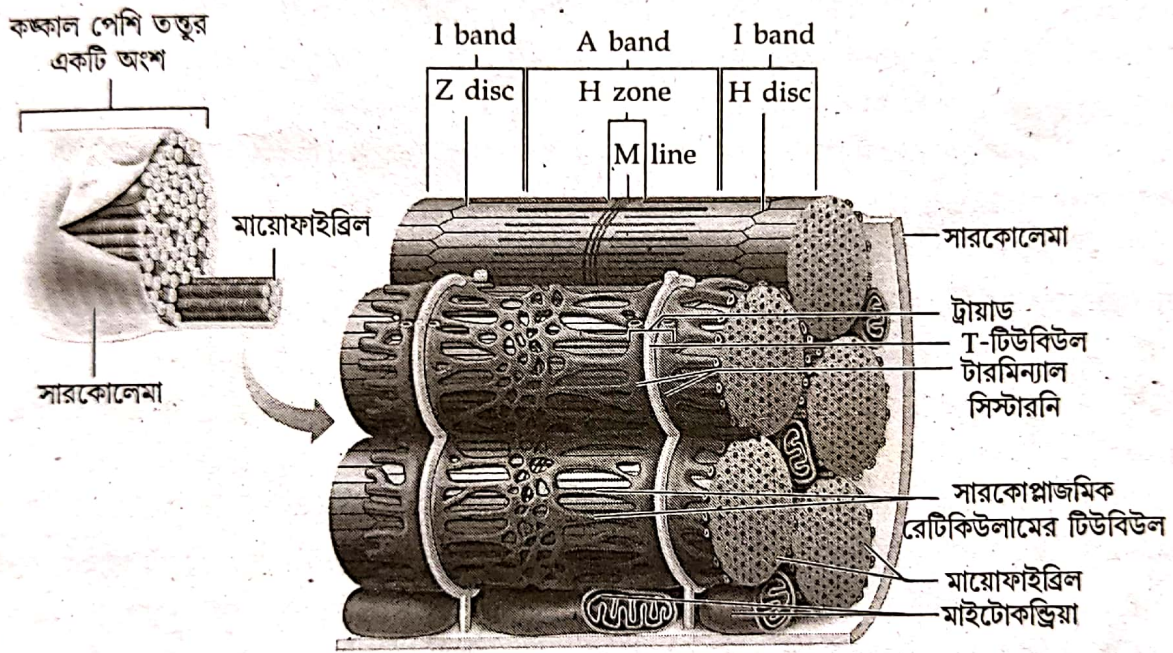
4th Semester

Submitted by- SANGITA BASAK

Department Of Zoology

Krishnath College, Berhampore

■ সারকোটিউবিউলার তন্ত্র (Sarcotubular System) : সারকোটিউবিউলার তন্ত্রের উপস্থিতি, কঙ্কাল পেশির একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য। তন্ত্রটি সারকোপ্লাজমিক রেটিকিউলাম (Sarcoplasmic reticulum) এবং T তন্ত্র (T system) সহযোগে গঠিত।



চিত্র 1.29 : সারকোটিউবিউলার তন্ত্র

i. সারকোপ্লাজমিক রেটিকিউলাম (Sarcoplasmic reticulum) : সারকোপ্লাজমে (পেশি কোশের সাইটোপ্লাজম) অবস্থিত এন্ডোপ্লাজমিকজালিকাগুলি সারকোপ্লাজমিক জালিকা নামেও পরিচিত। প্রতিটি সারকোমিয়ারে সারকোপ্লাজমিক জালিকা দুটি সুস্পষ্ট অংশ সহযোগে গঠিত। অণুদৈর্ঘ্য অংশটি বেশ কিছু সংখ্যক লম্বা ফাঁপা টিউব ও পাতলা ফাঁপা শিট

(sheet) সহযোগে গঠিত। এরা মায়োফাইব্রিল (myofibril)-এর সাথে ঘনসম্মিষ্ট ভাবে অবস্থান করে। অনূদৈর্ঘ্য অংশের প্রান্তগুলি A band ও I band এর সংযোগস্থলে প্রান্তীয় সিস্টারনি গঠন (Terminal cisternae) গঠন করে।

এই অংশে ক্যালসিকুয়েস্ট্রিন (Calsequestrin) নামক এক প্রকার প্রোটিন থাকে যা দুর্বলভাবে ক্যালশিয়ামের সঙ্গে যুক্ত। এছাড়া অধিকাংশ ক্যালশিয়ামই এই অংশে সঞ্চিত থাকে।

ii. T-তন্ত্র (T-system) : সারকোলেমা (পেশিকোশ পর্দা) কোশের অন্তর্ভাগে অনুপ্রস্থভাবে বর্ধিত হয়ে যে ফাঁপা নলাকার গঠন দেখা যায় তাকে Transverse tubule বা T-tubule বলে। T-tubules গুলি কোশস্থিত প্রান্তীয় সিস্টারনির সংলগ্ন অঞ্চল বরাবর গঠিত হয়। এদের অন্তর্ভাগ প্রকৃত পক্ষে বহিঃকোশীয় স্থান (Extra-cellular space)। যদিও এরা পেশিত ত্বুর মধ্য দিয়ে প্রসারিত হয় তবুও কোশ মধ্যে এরা মুক্ত হয় না। T-tubule এর পর্দা তার উভয় পার্শ্বে অবস্থিত কোশের প্রান্তীয় সিস্টারনির সঙ্গে বিশেষ অংশ দ্বারা যুক্ত থাকে, এদের প্রতিটিকে ট্রায়াদ (Triad) বলে। এই সম্পূর্ণ অংশটিই হল T-system।

T-system সারকোলেমা বরাবর বিস্তৃত বলে এটি কোশপর্দা থেকে ক্রিয়া বিভবকে দ্রুত কোশস্থিত সমস্ত তত্ত্বুতে স্থানান্তরিত করে। অর্থাৎ সারকোপ্লাজমিক রেটিকিউলামসহ T টিউবিউল (Transverse Tubule) ও টার্মিনাল সিস্টারনি সহযোগে গঠিত হয় পেশি ট্রায়াদ।

1.B5 পেশি সংকোচনের আণবিক ও রাসায়নিক ভিত্তি (Molecular and Chemical Basis of Muscle Contraction)

সংকোচী পেশি কোশে অবস্থিত বিভিন্ন প্রকার সংকোচী প্রোটিন অণুর আন্তঃক্রিয়া, বিভিন্ন রাসায়নিক বস্তুর সঙ্গে তাদের পারস্পরিক আন্তঃক্রিয়া এবং সর্বোপরি বিভিন্ন রাসায়নিক বস্তুর সক্রিয়তা পেশির সংকোচন ঘটায়।

1 ক্রসব্রিজ গঠন (Formation of Crossbridge) : পেশির সংকোচন কালে পেশি কোশস্থিত থিক ফিলামেন্টের মায়োসিনের মস্তক, থিন ফিলামেন্টস্থিত অ্যাকটিন মনোমারের বন্ধনী স্থানের (binding site) সঙ্গে সংযুক্ত হয়ে ক্রসব্রিজ (Cross bridge) গঠন করে। অ্যাকটিন ও মায়োসিনের এই প্রকার আন্তঃক্রিয়া অর্থাৎ Cross bridge গঠন চক্রাকারে ঘটে থাকে। একে ক্রসব্রিজ চক্র বলে। প্রতিটি চক্রে ক্রসব্রিজ গঠিত হয়, ফলে সারকোমিয়ার সংকুচিত হয় (Z line দুটি কাছাকাছি আসে, কিন্তু A band প্রস্থে অপরিবর্তিত থাকে) মায়োসিন মস্তক, অ্যাকটিন মনোমার থেকে মুক্ত হয় (detachment) পরে পুনরায় মস্তকটি থিন ফিলামেন্টের সঙ্গে যুক্ত হয়। এই ক্রসব্রিজ চক্রের আবর্তন পেশিতত্ত্বু বরাবর একটি বল (force) এবং সঞ্চালন (movement) সৃষ্টি করে।

ক্রসব্রিজ গঠন বা অ্যাকটিন মায়োসিনের আন্তঃক্রিয়া স্বাভাবিক পেশি কোশে (বিশ্রামকালীন) ঘটে না কারণ অ্যাকটিন মনোমারের সংযোগস্থান (binding site), ট্রোপোমায়োসিন ও ট্রোপোনি I (TnI) দ্বারা আবৃত থাকে। পেশি কোশে ক্রিয়া বিভব সৃষ্টি হলে এই চক্র ঘটে থাকে।

2 ক্রিয়া বিভবের সৃষ্টি (Formation of Action Potential) : কঙ্কাল পেশি কোশ, নিজস্ব ক্রিয়া বিভব উৎপন্ন করতে পারে না। কেন্দ্রীয় স্নায়ুতন্ত্রস্থিত চেফীয় স্নায়ুপ্রান্ত পেশি কোশে মোটর এন্ড প্লেট (motor end plate) গঠন করে। উদ্দীপিত চেফীয় স্নায়ু মোটর এন্ড প্লেটে অ্যাসিটাইলকোলিন (acetylcholine) নিঃসৃত করে ও তার পর্দাতে প্রান্তফলকীয় বিভব (End plate potential) সৃষ্টি করে।

উক্ত End plate potential সংলগ্ন পেশিকোশের পর্দাতে ছড়িয়ে পড়ে, বিসমবর্তন ঘটায় তথা ক্রিয়া বিভব সৃষ্টি করে।

3 ক্যালশিয়াম আয়নের Ca^{2+} মুক্তি (Release of Ca^{2+}) : পেশি কোশস্থিত ক্রিয়া বিভব পরে সারকোটিউবিউলার তন্ত্রস্থিত, T-tubule মাধ্যমে প্রবাহিত হয়। উক্ত প্রবাহ T-tubule স্থিত Triad অতিক্রম করে সারকোপ্লাজমিক জালিকাস্থিত সিস্টারনিতে পৌঁছায়। Triad এর দেওয়ালে ডাইহাইড্রো পাইরিডিন গ্রাহক (dihydropyridine receptor) (DHPR) যা একপ্রকার ভোল্টেজ গেটেড (Voltage gated) ক্যালশিয়াম আয়ন (Ca^{2+}) চ্যানেল এবং তার পাশে রাইনোডাইন গ্রাহক ryanodine receptor (RyR) যা একপ্রকার লিগ্যান্ড গেটেড (Ligand gated) ক্যালশিয়াম আয়ন চ্যানেল উভয় অবস্থিত।

যখন ক্রিয়া বিভব DHPR সংলগ্ন অঞ্চলে পৌঁছায় তখন উক্ত গ্রাহকগুলি (DHPR), RyR-দের মুক্ত করে। এর ফলে সারকোপ্লাজমিক জালিকাস্থিত (SR) প্রান্তীয় সিস্টারনি থেকে ক্যালশিয়াম আয়ন (Ca^{2+}) গুলি দ্রুত অন্তঃকোশীয় স্থানে মুক্ত হয়, ফলে পেশি কোশে ক্যালশিয়াম আয়নের (Ca^{2+}) গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পায়।

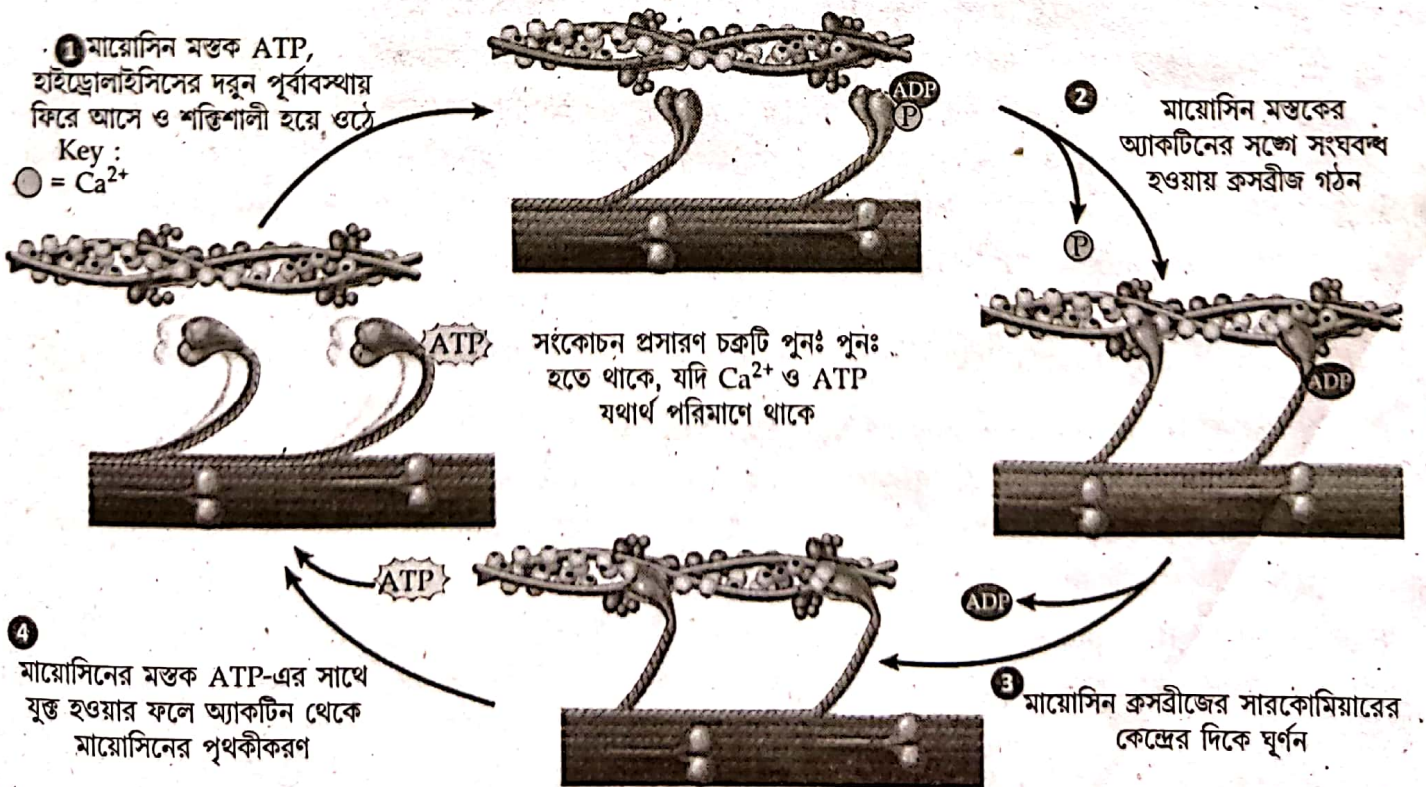
4 অন্যান্য আণবিক আন্তঃক্রিয়া ও রাসায়নিক পরিবর্তন (Other Molecular Interaction and Chemical Changes) : বিশ্রামকালীন অবস্থায় পেশিকোশের মধ্যে ক্যালশিয়াম আয়নের (Ca^{2+}) গাঢ়ত্ব (Concentration) কম থাকায় মায়োফাইব্রিল তথা সমস্ত পেশিকোশ শিথিল (relaxed) থাকে। পেশি কোশে Ca^{2+} আয়নের গাঢ়ত্ব যখন বৃদ্ধি পায়, ক্যালশিয়াম আয়নগুলি থিন ফিলামেন্টে অবস্থিত ট্রোপোমায়োসিনের সঙ্গে যুক্ত ট্রোপোনিन উপএককের (TnC) সঙ্গে যুক্ত হয়। ফলে ট্রোপোনিনস্থিত, ট্রোপোনিন I এবং ট্রোপোনিন T উপএকক সক্রিয় হয়। তাদের সম্মিলিত সক্রিয়তার কারণে ট্রোপোমায়োসিন অণু তার নিজ স্থান থেকে কিছুটা সরে যায়, ফলে অ্যাকটিন তন্তুস্থিত অ্যাকটিন মনোমারদের মায়োসিন বাইন্ডিং অঞ্চলগুলি মুক্ত হয়।

উক্ত পরিবর্তনের দরুন মায়োসিন অণু ও অ্যাকটিন অণুর মধ্যে আন্তঃক্রিয়া (interaction) ঘটে, ক্রসব্রিজ গঠিত হয় এবং যতক্ষণ পর্যন্ত ক্যালশিয়াম আয়ন (Ca^{2+}) ট্রোপোনিন C (TnC) র সঙ্গে যুক্ত থাকে ততক্ষণ ক্রসব্রিজ চক্রাকারে ঘটতে থাকে।

বিশ্রামকালীন পেশিতন্তুর ঠিক ফিলামেন্টস্থিত মায়োসিন অণুর মস্তক, এক অণু ADP ও এক অণু অজৈব ফসফেটের (Pi) সঙ্গে যুক্ত থাকে এবং থিন ফিলামেন্টের অ্যাকটিন অণুর সঙ্গে 90° কোণে অবস্থান করে।

মায়োসিন অণুর দুটি মস্তক অণুর যে কোনো একটি অ্যাকটিন অণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে cross bridge গঠন করে। মায়োসিন অণু থেকে ADP অণু এবং অজৈব ফসফেট (Pi) সাইটোপ্লাজমে মুক্ত হয়। ADP এবং Pi-এর বিচ্যুতির ফলে মায়োসিন অণুতে কিছু পরিবর্তন (conformation change) ঘটে, গ্রীবা (S2 region) সহ মস্তকটি 45° কোণে লেগে থাকে। পরক্ষণেই হেলে থাকা গ্রীবাটি স্প্রিং-এর মতো সোজা হয়। কিন্তু মায়োসিনের মস্তকটি তখনও অ্যাকটিন অণুর সঙ্গে লেগে থাকে। গ্রীবার এই সক্রিয় পরিবর্তন অ্যাকটিন তন্তুকে টেনে মায়োসিন তন্তুর পশ্চাদ অংশ বরাবর সঞ্চারিত করে, এই প্রকার সঞ্চারন (movement)-কে 'power stroke' বলে।

সারকোপ্লাজমস্থিত ATP, মায়োসিন মস্তকের সঙ্গে যুক্ত হয়, ফলে মস্তকটি অ্যাকটিন তন্তু থেকে বিচ্যুত হয়। মায়োসিন তন্তুর ATPase অজৈব ফসফেট ATP-কে ADP এবং (Pi)-এ আর্দ্রবিশ্লেষিত করে, ফলে তারা পুনরায় মায়োসিন মস্তকের সঙ্গে যুক্ত হয়। আর্দ্র বিশ্লেষণকালে, উৎপন্ন শক্তি মায়োসিন মস্তকের গঠন ঠিক করতে (conformational change) এবং তাকে নিজস্ব অবস্থানে (90°) ধরে রাখতে, ব্যবহৃত হয়। মায়োসিন মস্তক পুনরায় নিজের জায়গায় ফিরে আসে। এইভাবে ক্রসব্রিজ চক্র (cross bridge cycle) সম্পূর্ণ হয়।



চিত্র 1.30 : পেশি সংকোচনের প্রক্রিয়া

যতক্ষণ পর্যন্ত সারকোপ্লাজমে পর্যাপ্ত পরিমাণে Ca^{2+} আয়ন উপস্থিত থাকে এবং যথেষ্ট পরিমাণে ATP পাওয়া যায় ততক্ষণ এই চক্র পুনরাবর্তিত হয়। বহু সংখ্যক মায়োসিন মস্তক একই সাথে বা কাছাকাছি একই সময়ে ক্রসব্রীজ চক্র সম্পূর্ণ করে। বহু সংখ্যক ক্রসব্রীজ চক্রের পুনরাবর্তন পেশির সংকোচন ঘটায়। প্রতি থিক ফিলামেন্টে প্রায় 500টি মায়োসিন মস্তক থাকে, পেশির দ্রুত সংকোচনকালে তারা প্রত্যেকে সেকেন্ডে 5 বার ক্রস ব্রীজ চক্রের আবর্তন ঘটায়।

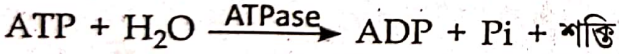
প্রতি power stroke-এ সারকোমিয়ার প্রায় 10 nm দৈর্ঘ্য পর্যন্ত সংকুচিত হয়, কিন্তু প্রতি পেশিতে সারিবদ্ধ ভাবে (end to end) বহু হাজার সারকোমিয়ার অবস্থিত। এই প্রকার সজ্জারীতির দরুন সারকোমিয়ারের ক্ষুদ্র সংকোচন একত্রিত হয়ে পেশির সার্বিক সংকোচন ঘটায়। একইভাবে প্রতি সারকোমিয়ারে উৎপন্ন ক্ষুদ্র পরিমাণ বল একত্রিত হয়ে বেশ কিছু পরিমাণ বল (force) বা শক্তি উৎপন্ন করে।

পেশিকোশ থেকে সারকোপ্লাজমিক রেটিকিউলামস্থিত Ca^{2+} , ATPase পাম্পের সক্রিয়তায় সারকোপ্লাজম থেকে Ca^{2+} আয়নকে পুনরায় প্রান্তীয় সিস্টারনিতে অপসারিত হয়। ATP-র আর্দ্রবিশ্লেষণে সৃষ্ট শক্তি দ্বারা SER Ca^{2+} পাম্প চালু থাকে। কোশ মধ্যে Ca^{2+} আয়নের গাঢ়ত্ব (Concentration) যথেষ্ট পরিমাণ কমে গেলে মায়োসিন ও অ্যাকটিনের মধ্যে অন্তঃক্রিয়া বন্ধ হয়, ফলে পেশি শিথিল হয়ে যায়।

■ ■ স্লাইডিং ফিলামেন্ট মতবাদ (Sliding Filament Theory) : এই মতবাদটি প্রধানত পেশির বিশ্রাম, প্রসারিত ও সংকুচিত অবস্থায় আকার ও গঠনের নিবিড় পর্যবেক্ষণের ওপর ভিত্তি করে তৈরি করা হয়েছে। প্রাথমিকভাবে যখন পেশি সংকুচিত হয় এর স্থূল ও পাতলা ফিলামেন্টের দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবর্তন হয় না। কিন্তু H-অঙ্গুল ও I-ব্যান্ডের দৈর্ঘ্য হ্রাস পায় এ ফলে সারকোমিয়ারের দৈর্ঘ্যের হ্রাস ঘটে। উপরোক্ত পরিবর্তনের প্রেক্ষাপটে স্লাইডিং ফিলামেন্ট মতবাদটি প্রস্তাবিত হয়।

এই মতবাদের প্রতিপাদ্য বিষয়গুলি হল :

① যখন পেশিকে উদ্দীপিত করা হয় তখন উদ্দীপনা পেশিতন্তুতে প্রবাহিত হওয়ার সণয় কোশপর্দার ভেদ্যতা বৃদ্ধি পায়। এর ফলে পেশিতন্তুর বাইরে থেকে Na^+ ও Ca^{2+} পেশিতন্তুর ভিতরে প্রবেশ করে। Ca^{2+} , ATPase উৎসেচকের সক্রিয়তা বৃদ্ধি করে যা ATP-কে বিশ্লেষিত করে শক্তি নির্গত করে।



② ATP থেকে নির্গত শক্তি মায়োসিন ও অ্যাকটিন ফিলামেন্টের মধ্যে একধরনের ইলেকট্রোস্ট্যাটিক আধান (Electrostatic charge) গঠন করে যা অ্যাকটিন ফিলামেন্টগুলিকে টেনে মায়োসিন ফিলামেন্টের মধ্যবর্তী স্থানে নিয়ে আসে। এর ফলে মায়োফাইব্রিলের সারকোমিয়ারের দৈর্ঘ্য হ্রাস পায় এবং পেশির সংকোচন ঘটে।

③ পেশিতন্তুর ভিতরে Ca^{2+} থাকাকালীন অবস্থায় ATPase সক্রিয় থাকে। সারকোপ্লাজমে একধরনের রিলাক্সিং পদার্থ (Relaxing Factor) থাকে যা Ca^{2+} -এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্যালশিয়ামকে আয়নিত অবস্থায় নিয়ে আসে। এর ফলে ATPase উৎসেচকের সক্রিয়তা হ্রাস পায় এবং ATP থেকে শক্তি নির্গমন বন্ধ হয়ে যায়। অ্যাকটিন ও মায়োসিন ফিলামেন্টের মধ্যে যে ইলেকট্রোস্ট্যাটিক আধান গঠিত হয়েছিল তা অন্তর্হিত হয়। এর ফলে পেশি পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে অর্থাৎ পেশি প্রসারিত হয়।

এই তত্ত্বটিই 'Walk-along তত্ত্ব' অথবা পেশি সংকোচনের আধুনিক মতবাদ নামে পরিচিত।