

关于骨骼肌强直性和紧张性的神经肌肉 “装置”问题的研究

黄 溢 明

(生物系)

骨骼肌的活动有两种基本方式：快速的、相位的收缩（强直性收缩）与放松和缓慢的、长期张力性的缩短（紧张性收缩）。

关于强直性和紧张性收缩的生理机制问题的研究并不一致。强直性收缩的研究很深入和全面，这些研究的结果构成了近代神经肌肉生理学的核心。相反，对紧张性收缩本质的研究相对地来说是不够的。目前关于骨骼肌紧张的外周机制还没有一致的看法。争论的焦点可以归结为：在脊椎动物是否存在有专门分化了的善于强直性和紧张性收缩的神经肌肉活动“装置”；抑或这两种不同的活动方式是由同一种活动“装置”来实现的。

骨骼肌紧张性收缩本质的研究有着悠久的历史。远在十九世纪末和二十世纪初由于多在平滑肌活动方面的探讨，研究者们就注意了肌紧张的生理机制。在这段期间实验研究主要是在无脊椎动物中进行，这些研究的成果后来被运用在脊椎动物上。对这个问题的比较系统的研究是从这个世纪的三十年代开始的。

Spiegel (1928), Jordan (1929) 以及其他一些学者持有这样一种观点，认为肌浆中蛋白质胶体的粘滞性的增长所引起的闭合机制是骨骼肌紧张的基础。

Forbes (1922), Fulton (1926) 和其他一些人则以肌纤维的非同步性活动来解释紧张性收缩。当肌紧张时不是所有的肌纤维都处于兴奋状态，其中一些纤维在活动，而另一些纤维则处于休止状态，肌纤维的活动是相互轮换来进行的。

Franck (1904), Hill (1926) 和 Ritchie (1928) 把肌紧张看成是由缓慢的单收缩所组成的强直性收缩。

Risser (1925), Sommerkamp (1928), Wachholder (1930) 以及其他一些人提出了关于在形成肌紧张中乙酰胆碱具有巨大作用的假设。按照他们的意见，紧张性的收缩是由于乙酰胆碱的作用而引起的，这些物质是在神经冲动的影响下在肌肉中形成的。这种说法在 Гинецкий 及其同事们的的工作中得到进一步的发展 (Гинецкий и Михельсон 1937; Гинецкий и Несмеянова, 1956)。Зефилов и Кибяков (1954) 和 Пивонтак (1956) 同样也是紧张收缩的乙酰胆碱性机制的拥护者。

肌紧张收缩本质的进一步实验性研究曾经趋向于青蛙骨骼肌的“类似紧张性收缩现象”的分析方面。在蛙的神经肌肉标本实验中，以碱性溶液和冷却处理使神经变性的条

件下, Жуков观察到类似紧张性的收缩(1935)。

当挤压神经和用各种药物使神经变性时, Макаров (1945), 获得类似紧张性的收缩; 用定电流 (Сведров, 1934) 和氯化钾 (Русинов, 1933; Болдыров и Квасов, 1934) 使神经变性时也可以观察到这种类似紧张性的收缩。按照这些作者的意见, 类似紧张性的收缩是由于在变性部分神经冲动的改变所引起的。同时, 他们认为: 同一种的肌肉基质时而强直性收缩, 时而紧张性收缩, 这取决于神经冲动的形式和强度。也就是说, 他们反对在脊椎动物中存在有专门分化了的强直性和紧张性的神经肌肉活动“装置”。

但是, 在研究类似紧张性收缩时, Жуков和Верещагин 提出过这样一种论点, 认为不同的神经和肌肉纤维的活动是强直性与紧张性收缩的基础。

Верещагин (1948 a) 曾经指出过, 在类似紧张性收缩和乙酰胆碱所引起的痉挛之间有一些共同的地方, 在上述两种情况中收缩的发生就是缓慢的; 放松也是缓慢的; 肌肉呈现可塑性。阿托品和美洲箭毒对乙酰胆碱性的痉挛和类似紧张性的收缩都是具有同样程度的抑制作用。在另一篇文章中 Верещагин (1948 b) 曾证明, 类似紧张性收缩只有在那些能发生乙酰胆碱性痉挛的肌肉中才能观察到。很明显, 紧张性肌纤维是以痉挛来回答乙酰胆碱的作用, 这是紧张性肌纤维的特征。因此类似紧张性的反应是取决于混合性的活动装置中紧张性成份的活动。

如果这个结论是正确的话, 那么在通常的神经肌肉标本中, 当神经没有任何变性的情况下能够观察到强直性和紧张性成份的活动。实验证实了这种情况。

Верещагин 和 Жуков (1948) 曾发现, 蛙的混合性肌肉 (腓肠肌) 是以双重成份的收缩来回答对神经短 (0.1—0.5秒) 而强的节律性的刺激, 即强有力的锋形强直性收缩和弱的尾状紧张性收缩。按照他们的见解, 这种紧张性成份的收缩反映了混合性肌肉中紧张性“装置”的活动。根据 Галецкий и Михельсон (1937) 的材料这种紧张性成份在紧张性的腹直肌中较多, 在非紧张性的缝匠肌中则很少, 甚至于没有。

在 Жуков (1957) 的工作中曾证明过, 在神经没有任何变性的情况下, 变换刺激混合肌 (腓肠肌) 坐骨神经的强度可以单独地获得强直性的紧张性的收缩。

关于存在专门分化了的强直性和紧张性肌纤维的说法在好些研究者的工作中找到了实验的证据。Жуков 和 Леушина (1948) 曾经在剥离的肌纤维中获得证明这个假想的重要资料。他们从蛙肌中剥离出在形态上和生理上都不同的纤维。紧张性的肌纤维比较透明, 论长度紧张性的 (5—8毫米) 较强直性的短 (18—25毫米)。紧张性的肌纤维以单个微弱而缓慢的收缩来答应稀少的刺激。这种缩短只达原来肌纤维长度的2—3%。同样的刺激却引起强直性肌纤维快而强的收缩反应。这种收缩达到原来肌纤维长度的30—40%。

Kruger 及其同事们 (Kruger, Duspiya u. FürLinger; 1933) 同样得出关于存在双重收缩性基质的结论。根据大量组织学和生理学研究的资料, 在脊椎动物中有不同的, 专门分化的横纹肌纤维。在一些肌肉中, 肌原纤维分布得很均匀, 这是带有“原纤维状结构”的纤维, 含有这种纤维的肌肉, 其特点是收缩很快, 并且能够强直, 因而带有原纤维状结构的纤维是强直性的肌纤维。在另一些肌肉中, 肌原纤维被独特的肌浆层交互隔

开,这是具有“裙襖状性结构”的纤维,含有这种纤维的肌肉的特点是收缩缓慢。这就是紧张性的肌纤维。

在Kuffler和Williams (1953)的工作中同样证明了蛙肌具有快和慢两种纤维。慢的或者叫紧张性的纤维的特点在于它们对外来刺激的局部性反应,正是这一点它们和强直性纤维有很大的区别。

不少的研究工作指出,在蛙的强直性和紧张性的肌肉中神经运动终板从形态和机能特性来看都有差别的。

在Даврентьев (1928)和Hines (1931)的工作中曾记载过两种神经肌肉终板:一种是葡萄串状;另一种是分囊状。

Günther (1949), Черноградская (1952)和 Четвериков (1953)曾证明在强直性肌肉中(缝匠肌、小胫骨肠肌侧部)主要是分囊状的终板,可是在紧张性肌肉中(腹直肌、小胫骨肠肌中部)大部分是葡萄串状的终板。在一条紧张性的肌纤维中多至七个神经终板,它们接触到肌纤维的各个部分。单条强直性肌纤维只含有1—2个运动终板,它们在纤维内只占非常有限的空间(Черноградская 1952)。

在强直性和紧张性的肌纤维中神经肌肉终板的区别不仅在形态学上,而且表现在机能方面。Аристов (1952)和 Жуков (1957)的研究说明了,蛙的紧张性神经肌肉接头的机能灵活性比强直性的低一些。

以上所列举的材料使我们有可能作出这样的结论:蛙的不同方式的收缩活动不仅取决于专门化了的肌纤维,同时也有赖于神经肌肉终板的独特性。如果是这样,那么可以设想,在蛙的运动神经系统中可能有专门分化了的神纤维,其中有一些支配着紧张性的肌纤维,而另一些则支配着强直性的肌纤维。

有一系列的工作从事这个问题的研究。根据自己的实验,Жуков及其同事们(Жуков, Верещагин, Иванов И Леушина, 1947; Верещагин, Жуков И Иванов 1947; Верещагин И Жуков 1947)得出结论,认为骨骼肌有着双重的运动神经支配。这些作者证明了,当刺激第八对和第九对神经根时获得蛙肌的不同收缩。腓肠肌(小胫骨肠肌也一样)以快速的收缩或者强直性收缩来回答对第八对神经根的刺激;而对第九对神经根的刺激则回答以带有显著的紧张性成份的收缩或者完全紧张性的收缩。以后进一步证明了在第八对神经根中包含着很大百分比(约50%)的纤维直径都是在11—14微米之间。可是在第九对神经根中直径在4—8微米之间的纤维占很大的百分比(约40%)。根据这些事实作者们做出这样的结论,认为青蛙快速的(强直性的)肌肉是由粗的运动神经所支配的;而慢的(紧张性的)肌肉是由细的运动神经支配的。

类似的资料也可以在Kuffler和Gerard (1947), Kuffler和Williams (1953)的工作中找到。

根据Авербах (1950, 1954)的资料,粗的神经纤维比细的神经纤维具有较高的兴奋性,它们对定电流封锁的抵抗力也比细纤维低一些。

在Krüger (1952)的工作中证明了终板是分囊状的有髓鞘神经纤维终止于原纤维状结构的强直性的肌纤维;反之,裙襖状的(紧张性的)肌纤维只受带葡萄状终板的有髓

鞘的細神經纖維支配。

採用剝離單條運動神經纖維的方法使有可能在單個運動單位中對這個問題進行探討。Tasaki (1942) 研究過刺激對神經干中各類纖維的機能作用，也曾發現，當刺激直徑4微米有髓鞘的細纖維時出現緩慢的緊張性收縮。Tasaki及其同事們 (Tasaki和Misutani, 1944; Tasaki和Tsukagoshi, 1944) 對這個現象的進一步研究證明了，“大”的神經纖維與強直性收縮機能相聯系，而“小”的則與肌緊張有關。

Kuffler及其同事們 (Kuffler和Gerard, 1947; Kuffler, Laporte和Ransmeier, 1947) 同樣獲得有關證明蛙肌的雙重運動神經支配的資料。這些資料闡明粗纖維的強直性神經系統是由直徑15微米的纖維所組成；細纖維的緊張性神經系統則由直徑4—8微米的纖維構成。通過粗神經纖維的單個沖動引起肌肉很明顯的快速的抽縮，當重複刺激時肌肉呈現微弱的縮短。根據他們的實驗材料，興奮的傳播在粗的神經纖維中 (8—40米/秒) 較在細的纖維中快一些 (2—8米/秒)。

Жуков和Богомолова (1949) 的微生理學研究工作同樣證明了，在蛙體中存在有專門分化了的強直性和緊張性的神經肌肉運動單位。

不久前，Бека (1959) 使用剝離單條運動神經纖維的方法，對強直性和緊張性的神經肌肉運動單位的活動進行過比較深入的研究。他的工作證明：在生理機能特性方面，蛙的強直性和緊張性的運動單位是有區別的。

這樣看來，剝離單條運動神經纖維的方法在研究強直性和緊張性活動“裝置”中起了很大的作用。但是，應當承認這種方法也有它的不足的地方，這主要表現在當剝離時或多或少地會損傷神經纖維，因而可能會影響神經纖維的生理特性；此外，剝離單條運動神經纖維的方法的熟練掌握也不是輕而易舉的，同時從混合的神經干中選擇地剝離單條緊張性纖維還有一定的困難。能否利用其他更簡便和有效的方法來制作神經肌肉標本以方便於個別地研究強直性和緊張性裝置的活動呢？對於這一點，我們的工作給予肯定的回答。

在列寧格勒大學生理研究所Е.К. Жуков實驗室內，作者 (1960) 發現了支配蛙的小脛骨腸肌的神經干靠近肌肉部分有粗細兩個小支。當刺激粗的神經分支時 (切斷細神經分支) 小脛骨腸肌側部的肌肉發生強直性收縮；可是當刺激細分支時 (切斷粗神經分支)，肌肉的中央部分呈現微弱而緩慢的緊張性收縮。又於1961年，進一步的研究證明了強直性和緊張性神經肌肉活動“裝置”在興奮性、機能靈活性、生物電流的活動、收縮的特性、良性和劣性效應、興奮狀態的特點以及對藥物因子的影響等方面是相互有區別的。我們認為這些資料不僅在理論方面同時在實踐上都有一定的價值。第一，它是骨骼肌的強直性和緊張性活動裝置的區分性的新證據。第二，它使我們有可能在同一塊骨骼肌中得到不同的強直性和緊張性的收縮活動，這就為骨骼肌緊張性收縮本質的研究提供了新的方法學的可能性。

此外，為了進一步揭露強直性和緊張性活動“裝置”的收縮特性的本質，不少學者從事於作為這兩種肌肉活動基礎的生物化學過程的研究。有資料說明，在強直性和緊張性的肌肉里某些化學物質的含量有差別。Krüger, Duspiera和Furlinger (1933) 曾發現，在

紧张性的肌纤维里比在强直性的肌纤维里含有較少量的肌磷酸和較多量的普通磷酸。根据 Юдаев (1949) 的材料, 蛙的小脛骨肠肌中部的紧张性纤维含有很大的肌肽和很少量的肌酸; 可是在这块肌肉侧部的强直性纤维里则肌酸很多, 而肌肽差不多不具备。

- 在强直性和紧张性的肌肉里具有不同的化学物质使我们联想到当骨骼肌强直性和紧张性收缩时物质代谢的独特性。根据 Bozler (1930) 热量法的材料, 在肌紧张时代谢的强度比在肌强直时少 10—15 倍。Пантелеева (1953) 的工作阐明, 当蛙的腓肠肌紧张性收缩时不出现三磷酸腺苷 (ATP) 和肌磷酸的分解。

强直性和紧张性肌肉对某些化学药物的不同反应同样说明这种肌肉活动的生物化学机制的独特性。在生理学上已经公认, 强直性肌纤维对乙酰胆碱的作用不起反应; 相反, 紧张性肌纤维对乙酰胆碱具有高度的敏感性和对它产生持久性收缩反应的能力。

最近几年来, 根据研究肌肉收缩蛋白质特性的试验, Иванов (1959), Франк (1959), 和 Жуков (1956) 等人提出这样的假设: 在紧张性肌肉里含有区别于强直性肌肉所具有的肌纤维凝蛋白特性的收缩性蛋白质。

由此可见, 上面所列举的大量事实使我们确信在两栖类骨骼肌中存在着不仅在形态方面而且在机能方面均有差别的神經肌肉活动“装置”——快速的(强直性的)和缓慢的(紧张性的)活动“装置”。但是怎样来理解在动物骨骼肌中具有强直性和紧张性的活动“装置”呢? 从有机体和环境统一观点来看, 结构和机能的分化是有机体对不同的生存条件和通过遗传性所固定下来的在形态上和机能上适应的结果。很明显, 动物的活动“装置”, 担负着双重的任务。第一, 在外界环境中有机体的移动; 第二, 姿势的维持。为了完成这两方面的任务肌肉出现两种基本的活动方式: 强直性的和紧张性的, 前者主要是完成机体的移动; 后者主要是保持躯体的姿势。这样看来, 存在有独特的强直性和紧张性的活动“装置”可以理解为适应性进化的结果, 也是在机体中为了完成不同的工作, 活动“装置”分化的结果。因此, 在不同的动物中对神经肌肉活动“装置”进行比较生理学的研究有重要的生物学和生理学的意义。

参 考 文 献

- [1] Авербах М.С., О Действии катода и анода постоянного тока на проработку различных волокон пера лягушки. Уч. зап. ЛГУ, 1950, №123, стр. 102.
- [2] Авербах М.С., Сравнительная характеристика восьмого и девятого передних спинномозговых корешков. Уч. зап. ЛГУ, 1954, №176, стр. 119.
- [3] Бекава Г.Л., О Функциональных особенностях тетанических и тонических нейромоторных единиц. Автореферат дисс., Тбилиси, 1959.
- [4] Болдырев В.Б. и Д.Г. Квасов, Что делается с волною возбуждения при проведении через парабистический участок. Труды физиол. ин-та ЛГУ, 1934, вып.

本文是在 Е. К. Жуков 教授指导下完成的, 謹此致謝。

14, стр.122.

- [5] Верещагин С.М., Способность к развитию тонусоподобных сокращений в различных мышцах лягушки. физиол. ж. сср, 1948а, Т.34, стр. 73—80.
- [6] Верещагин С.М., Влияние различных фармакологических агентов на тонусоподобные сокращения мышцы лягушки. физиол. ж. сср, 1948б, Т.34, стр. 81—85.
- [7] Верещагин С.М., и Е.К. Жуков, Новые данные об иннервации тонуса в скелетных мышцах лягушки. физиол. ж. сср, 1947, Т.33, стр. 335—343.
- [8] Верещагин С.М., Е.К. Жуков и Т.П. Иванова. К вопросу о физиологических механизмах тонуса скелетной мышцы. 7. Всес. съезд физиол., биохимик. и фармакол. Доклады, 1947, стр. 52—53.
- [9] Верещагин С.М. и Е.К. Жуков, Тонический компонент сокращения в скелетной мышце лягушки. физиол. ж. сср, 1948, Т.34, стр. 207—216.
- [10] Гинецинский А.Г. и Н.М. Михельсон, О гуморальной передаче нервного возбуждения в двигательных окончаниях самотического нерва. успехи совр. биол., 1937, Т. 6, стр. 393—399.
- [11] Гинецинский А.Г. и Т.Н. Несмеянова, Реакция на ацетилхолин изолированных волокон скелетной мышцы. Материалы по эволюц. физиол., 1956, т. I, стр. 98—103.
- [12] Жуков Е.К., О температурном парабозе нерва в связи с колориметрическими изменениями паработической области. Труды лен. об-ва естествоиспыт., 1935, Т.64, стр. 407.
- [13] Жуков Е.К., Исследования о тонусе скелетных мышц, Медгиз, 1956.
- [14] Жуков Е.К. Явление оптиума и пессимума в тоническом нервномышечном приборе. физиол. ж. сср, 1957, Т.43, стр. 1113—1116.
- [15] Жуков Е.К. и Т.П. Богомолова. О тетанических и тонических нейромоторных единицах. физиол. ж. сср, 1949, Т.35, стр. 73—78.
- [16] Жуков Е.К., Верещагин С.М., Иванова Т.Н. и Леушина Л.И., О тетанических и тонических нервных волокнах. Д.А.Н. сср, 1947, Т.58, стр. 1227—1229.
- [17] Жуков Е.К. и Л.И. Леушина, О Тетанических и тонических мышечных волокнах. Д.А.Н. сср, 1948, Т.62, стр. 426—428.
- [18] Зефирова Л.Н. и А.В. Кибяков, О роли ацетилхолина в механизме тонусоподобного сокращения скелетных мышц. физиол. ж. сср, 1954, Т.40, стр. 183—190.
- [19] Иванов И.И., О существовании двух белков субстратов мышечной деятельности фазного сокращения и тонической функции. Тезисы докл. 9 съезда Всес. об-ва физиол., биохимик. и фармакол., 1959, Т. 3, стр. 97—101.
- [20] Лаврентьев Б.И., Об иннервации поперечнополосатой мускулатуры лягушки.

- Труды 3 Всес. съезда анатомов, зоол., и гистологов, 1928, Л., стр. 229.
- [21] Макаров П. О., Проблемы микрофизиологии нервной системы. Медгиз, 1947.
- [22] Пянтелева Н.С. Особенности обмена фосфорных соединений при тетанусе, тонусе и контрактурах. Вестник ЛГУ, 1953, №10, стр. 115.
- [23] Пионтук Н.Е., О значении ацетилхолина в механизме возникновения топического компонента сокращения скелетных мышц лягушки. Автореферат дисс. Казань. 1956.
- [24] Русинов В.С. О зависимости эффекта нервных импульсов от функционального состояния эффекторов. Труды Лен. об-ва естествоиспыт 1,933, Т.62, Вып. 1—2, стр. 84.
- [25] Свердлов С.М. О топическом сокращении скелетной мышцы. Учен. зап. Казан. ун-та, 1934, кн. 5, вып. 3, стр. 76—82.
- [26] Франк Г.М., Структурные и физико-химические основы мышечного сокращения. Тезисы докл. 9 съезда Всес. об-ва физиол., биохимик. и фармакол., Минск, 1959, Т. 3, стр. 109—113.
- [27] Хуан И-мин(黃溢明), Новое доказательство раздельности фазных и тонических нервно-мышечных приборов скелетной мышцы. физиол. ж. ссср, Т. 46, № 7, 1960, стр. 828—830.
- [28] Хуан И-мин(黃溢明), Исследование тетанических и тонических нервно-мышечных приборов у амфибий. Автореферат дисс. Ленинград, 1961.
- [29] Черноградская Н.А., Сравнительно-гистологическое исследование двигательных нервных окончаний в соматической мускулатуре позвоночных. Автореферат дисс. ЛГУ, 1952.
- [30] Четвериков Г.Н., Строение нервно-мышечных окончаний в тонических и нетонических мышцах. Бюлл. exper. биология и медицины, 1953, Т.36, стр. 53.
- [31] Юдаев Н.А., Содержание карнозина и креатина в тонических и нетонических мышцах лягушки Биохимия, 1949, Т.14, стр. 51—57.
- [32] Bozler E., The heatproduction of smooth muscles. J. physiol., 1930, V. 69, P. 442.
- [33] Forbes A. The interpretation of spinal reflexes in terms of present knowledge of nerve conduction. physiol. Rev., 1922, V. 2, P. 361.
- [34] Franck O Thermodynamik des muskels. Ergebn. d. physiol., 1904, abt. 2, B. 495.
- [35] Fulton J.F. Muscular contraction and the reflex control of movement. Baltimore, 1926.
- [36] Gunther P.G., Die innervation des m. sartorius und des m. ileofibularis des prosches. Anat. Anz., 1944, Bd. 97, S. 175.

- [37] Hill A.V. The viscous elastic properties of smooth muscle. *proc. Roy. Soc. B.* 1926, V. 100, P. 103—115.
- [38] Hines M. Studies on the innervation of skeletal muscle, *Amer. Journ. anat.*, 1931, V. 47, P. 1—53.
- [39] Krüger P., Tetanus und tonus der quergestreiften skelettmuskeln der wirbeltiere und desmenschen. Leipzig, 1952, Akad. Verlag.
- [40] Krüger P., Duspiva F. und Furlinger F. Tetonus und tonus der skelettmuskeln des frosches, eine histologische, reizphysiologische und chemische untercauchung. *Pflug. Arch.* 1933, Bd. 231, S. 750—786.
- [41] Kuffler S.W. and Gerard R.W., The small-nerve motor system to skeletal muscle *J. Neurophysiol.*, 1947, V. 10, P. 383—394.
- [42] Kuffler S.W. Laporte Y. and Ransmeier R.E., The function of the frog's small nerve motor system. *J. neurophysiol.*, 1947, V. 10, P. 395—408.
- [43] Kuffler S.W. and Williams E.M., Small-nerve junction potentials. The distribution of small motor nerves to frog skeletal muscle and the membrane charactristies of the fibers they innervate, *J. physiol.*, 1953, V. 121, P. 289—317.
- [44] Riesser O., Der muskeltonus. *Handb. norm. pathal. physiol.*, 1925, Bd. 8, S. 192.
- [45] Ritchie O.D. The comparative physiology of muscular tissue. 1928.
- [46] Sommerkamp H., Das substrat der Dauerverkürzung am froschmuskeln. *Arch. exper. pathol. u. pharma.* 1928, Bd. 128, S. 99—115.
- [47] Spiegel E.A., Tonus. *Handb. d. norm. u. pathol.*, 1928, bd. 9, S. 771.
- [48] Tasaki J., The motor nerve fibers which sets up slow muscular contraction. *Joken hanska.* 1942, V. 5, P. 1.
- [49] Tasaki J. and Mizutani K., Comparative studies on the activities of the muscle evoked by two kind of motor nerve fibers. Part. I, myographie studies *Jap. J. med. Sci., 111, Biophys.*, 1944, V. 10, P. 237.
- [50] Tasaki J. and Tsukagoshi M., Comparative studies on the activities of the muscle evoked by two kinds of motor nerve fibers. Part II. the electromyogramm. *Jap. J. med. sci. 111 Biophys.* 1944, V. 10, P. 245.
- [51] Wachholder K., Acetylcholin und Tiegelsche contractur in ihren beziehungen zueinander und zur tetanischen kontraktionsform. *Pflug. Arch. Ges, physiol.*, 1930, Bd. 226, S. 255—273.

К вопросу о тетанических и тонических нервномышечных
приборах скелетной мышцы.

Хуан И-мин