

肌肉之組成及收縮作用

(Composition and Contraction of Muscle)

張家達

一、緒言 (Introduction)

肌肉 (Muscle) 與動物體的運動有密切關係，動物的一切活動均由肌肉收縮所致。宇宙間活動性的動物，佔動物類的大部份，具有運動器官，藉運動尋覓食物。扁形動物 (Platyhelminthes) 如渦蟲由於纖毛的擺動，再加上肌肉之收縮，身體就可慢慢的滑翔。棘皮動物 (Echinodermata)，如海參，其多數管足由於相連肌肉之收縮，可攝取食物及行動。環形動物 (Annelida)，如蚯蚓，其體壁肌肉收縮時剛毛與土壤接觸而前後運動。高等動物 (Superior Creation) 的肌肉，構造複雜且有骨骼作為運動的槓桿，所以行動有力而快速。一般人在日常生活中須運動，運動員更需要經常運動，可見運動與肌肉息息相關。茲以生化學 (Biochemistry) 之觀點，敘述肌肉之組成 (Composition)、收縮作用 (Contraction) 及能之來源 (Source of Energy) 以瞭解人體之運動情形。

1. 組成 (Composition)

肌肉佔人體體重之四〇%，其乾燥之渣滓主要為蛋白質 (Proteins)，此等蛋白質有些存在於收縮纖維 (Contractile fiber) 中，其他部份則溶於細胞汁中。收縮纖維中之蛋白質分為肌凝蛋白質 (Myosin) 及肌纖維蛋白質 (Actin) 兩種。肌凝蛋白質之分子量在三五〇,〇〇〇—一,五〇〇,〇〇〇之間，肌纖維蛋白質之分子量為七〇,〇〇〇。肌纖維蛋白質有球狀 (G) 及纖維狀 (F) 兩種。

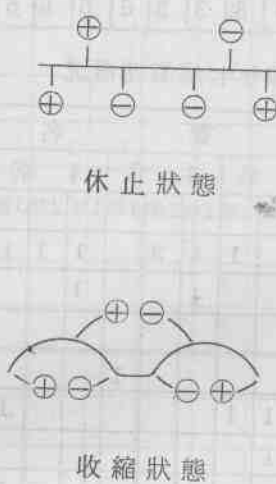
在肌肉中，F-肌纖維蛋白質藏於富有肌凝蛋白質之中。肌肉呈紅色是由於少量之肌紅蛋白質 (Myoglobin) 及細胞色素 (Cytochrome) 而成。肌肉除含肌凝蛋白質、肌纖維蛋白質及溶解性蛋白質外，尚含不溶性間質蛋白質 (Stroma Protein)。此種間質蛋白質能生成肌肉細胞膜。

休止之肌肉含有〇.五—一%之肝粉，並含有分解醣類及脂肪所需之輔酶 (Coenzyme)，如腺嘌呤核 三磷酸 (ATP)。

肌磷酸 (Creatine Phosphate) 及磷酸吡啶核甘酸 (DPN 或 TPN)。煮沸之肌肉湯內含有有機酸、肌肝、肉毒 (Carnitine)、肉精 (Carnosine) 及肌醇 (Inositol) 等。

三、收縮作用 (Contraction)

肌肉之收縮是由於肌動纖維蛋白質 (Actomyosin) 之縮短所致，此種肌動纖維蛋白質為三分肌凝蛋白質與一分肌纖維蛋白質之複合物。肌肉收縮為極快之過程，且其達成有賴於電勢之改變，故其作用可視為一種電離反應，即為收縮蛋白質分子之正電荷 (Positive Charge) 與負電荷 (Negative Charge) 互相結合所致。如圖：



靜止肌肉之收縮作用係腺嘌呤核甘三磷酸 (ATP) 以負電荷之磷酸基連接於收縮蛋白質之正電荷基上。腺嘌呤核甘二磷酸 (ADP) 之作用則與膠塑體 (Plasticizer) 之作用相似。肌肉收縮之完成是由於腺嘌呤核甘三磷酸 (ATP) 斷裂成為腺嘌呤核甘二磷酸 (ADP) 及無機磷鹽所致，此收縮作用常伴有蛋白質與鉀之結合，然後變為可自由離析之鉀離子。

肌肉收縮時，可做相當之工作，其所需能 (Energy) 係由有機物之氧化所供給，即化學能變為機械能。肌肉收縮主要能之來源為肝粉氧化變成二氧化碳及水生成之能，其他少量能來自醣醇解 (Glycolysis)，即肝粉之氧分解成乳酸 (Lactic acid) 生成者。

肌肉含一%肝粉，此肝粉氧化時，可供 $0.01 \times 4 = 0.04$ Kcal/g 熱能 (即每克肌肉有 40cal 之熱能)，由醣醇解生

成之能，每克肌肉僅有 2cal 而已。肌肉工作時，其氧化量大大增加，每克靜息肌肉，每分鐘約消耗 0.02ml，但在重工作時，增為每分鐘 0.18ml。

腺嘌呤核苷三磷酸 (ATP) 對肌肉之收縮極為重要。它不僅能與收縮之蛋白質結合，同時亦可為肝粉分解時之必需致活劑。肝粉分解釋出之能受中間物，ATP 分子之作用，變為肌肉收縮之機械能。當肌肉收縮時，能即發生傳遞。

四、能之來源 (Source of Energy)

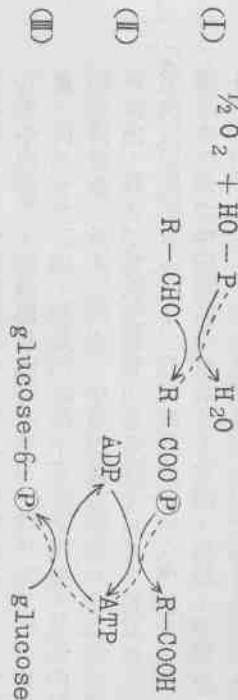
吾人膳食之各成分，其消化過程為先被腸壁吸收，然後在肝及其他機構中代謝，亦有經過一連串之代謝作用 (Metabolism) 者。最後有機物 (Organic Matter) 均被氧化為 CO_2 、水、尿素 (Urea) 及硫酸鹽，在此逐步氧化過程中，有機物之化學能變為熱能及機械能。人類及動物所需之熱能與機械能均由有機物燃燒所發生。有機物中，糖 (Carbohydrates) 之燃燒值為 4Kcal/g，脂質 (Lipids) 為 9Kcal/g，蛋白質 (Proteins) 為 4Kcal/g。因為食物為人類能力之來源，故能之平衡可用食物所含之糖、脂質及蛋白質之分析而來。食物之營養價值不僅賴於卡值供給能力，同時亦供給身體以必需成分。

由此可見，肌肉工作 (Muscular Work) 所需之能係由有機物氧化所供給，同時包括氧之消耗。人類當作肌肉工作時，氧之消耗增加量為每 100g 肌肉每分鐘 1ml 至 12ml。

表：不同職業之人類代謝 (Kcal/day)

工作方式	基礎代謝	全代謝	差數
辦公室工作	1992	2594	602
水泥匠	1983	3257	1274
重工作	2054	3781	1727

在氧化還原作用中所生之能常為其他作用所利用，其機械的過程包括 ATP (Adenosin-5'-triphosphate) 之產生及其高能量磷酸鍵之利用，故 ATP 為能量之供給者。此 ATP 非為外界所供給者，且其分量極少，在數秒鐘內即被用完，故在組織 (Organs) 中欲得 ATP 之平衡，須繼續再生 ATP。如下圖 (I) 及 (II) 為例證。



(I) 為醛 (Aldehyde) 之氧化磷酸化作用，(II) 為自生成醯基磷酸轉化磷酸至 ADP，(III) 為葡萄糖 (Glucose) 之磷酸化。(I) 與 (II) 偶合，則 ATP 可以繼續再生成。此種作用之原始的能是由氧還原為水而來。圖中所示為錯雜的代謝作用 (Metabolism) 之過程，且皆偶合而行。因為用於再生 ATP 之能量恰與斷裂 ATP 所釋出者相同，故 ATP 之斷裂及生成，其總反應等於零。高能量磷酸鍵並非為代謝作用中僅有可利用的高能量鍵，在輔酶 A (Co-enzyme A) 中高能量硫化物鍵亦具有相同之效應。

五、結論 (Conclusion)

吾人瞭解人體之肌肉組成 (Composition of Muscle) 及其收縮作用 (Contraction) 後，更應知道肌肉收縮所需之能是如何而來。由上述諸點可知肌肉中含肌凝蛋白質、肌纖維蛋白質，溶解性蛋白質及不溶性間質蛋白質 (Stroma Protein)。肌肉收縮 (Contraction) 係賴於電勢之改變，即腺嘌呤核苷三磷酸 (ATP) 以負電荷之磷酸基連接於收縮蛋白質之正電荷基上所致。在人體內之有機物 (Organic Matter)，如葡萄糖 (Glucose)、脂質 (Lipid) 及蛋白質 (Protein) 被氧化，

其化學能變為熱能及機械能。細胞中的能大部份貯於ATP中 (即ADP+磷酸鹽+能-ATP)。當肌肉活動需要能時，則從ATP獲得 (即ATP-ADP+磷酸鹽+能)。

六、參考文獻 (References)

- (一) 鄭作新：普通生物學 (上) (下)
- (二) 趙楷：生物學 (上) (下)
- (三) Felix Haurowitz: Biochemistry
- (四) Conn & Stumpf: Biochemistry
- (五) K.F.J: A New English Chinese Dictionary of Chemistry

七、英文摘要 (English Summary)

There is a close relation between muscle and movement, All active of animals are due to the contraction of muscle. In order to understand how muscle makes a move, we should study its composition, contraction and the source of energy.

Our body possesses muscle about 40 percent. The main component of muscle are proteins, such as myosin, actin, dissoluble protein and stroma protein. It also contains some myoglobins and cytochromes, so it presents red colour. The contraction of muscle arises from the condensation of actomyosin. The course of constraction is so quick as it is acted by attraction of positive charge and negative charge of contractive proteins.

When muscle contracts, it could do much works. The energy that muscle needs comes from the oxydation of organic matter, that is to say chemical energy to become heat

energy and mechanic energy. So the more a man acts the more oxygen he needs. The greater part of these energies make ADP become ATP, and store in it. While muscle needs energy to act, ATP decomposes to ADP and phosphate, and supplies energy at the same time.