دراسة تأثير التعب العضلي في النقل الحركي بدلالة الزمن والإشارة الكهربائية للعضلات العاملة في مهارة التصويب بكرة السلة

أ.م.د. أسامة أحمد حسين الطائي

جامعة بغداد / كلية التربية الرياضية

٢٠١٣

هدفت الدراسة التعرف على مقدار التغير الحاصل في النشاط الكهربائي(القمة والمتوسط والمساحة) ومقارنته للعضلات العاملة في مهارة التصويب من فوق الرأس بكرة السلة للعضلات العاملة التوأمية الأنسية، المستقيمة الفخذية، الرأس الوحشي للعضلة ثلاثية الرؤوس العضدية، ثانية الرسغ الكعبرية وفي مراحل مختلفة من التعب، والتعرف والمقارنة في تأثير التعب بمراحله المختلفة في تسلسل النقل الحركي بين العضلات العاملة. واشتملت عينة البحث على خمسة لاعبين كرة سلة من الدرجة الممتازة ومن ذوي الخبرة بمتوسط عمر (٢٠.٦٥) سنة وبانحراف معياري (٢.٦٢)، وأدوا جميعهم اختبار التعب بعشر محاولات مع تسجيل الإشارة الكهربائية (القمة والمتوسط والمساحة) بواسطة جهاز (EMG) نوع (Myo Trace 400) وتحليل الإشارة الكهربائية ببرنامج(Myo Research XP 1.06.67)، كما تم استعمال الحقيبة الإحصائية (SPSS) لتحليل البيانات والحصول على النتائج. واستنتج الباحث: حدوث هبوط معنوي في الإشارة الكهربائية (القمة والمتوسط والمساحة) للعضلات العاملة كافة في المحاولتين الخامسة والعاشرة عن المحاولة الأولى، وحدوث تفاوت معنوي في عمل العضلات بتقدم التعب العضلي فضلاً عن تحقق فروقاً معنوية بين أزمنة القمم المسجلة للعضلات العاملة كافة بين المحاولات الأولى والخامسة والعاشرة، وان التعب العضلي يؤثر سلباً في عملية النقل الحركي بين مفاصل الجسم.

A Study Of Muscular Fatigue And It's Influence On Motor Transfer Using Time And sEMG Signal For The Active Muscle in Basketball Shooting

Asst. Prof. Usama A. al-Tay (PHD)

Baghdad University / College of Physical Education

2013

The study aimed to identify the and comparison the change in EMG signal (peak, mean and area) for the active muscle (Med Gastrocnemius, Rectus Femoris, Lat Triceps, and Flexor Carpi Radialis) and comparison the EMG signal among the fatigue test attempts, and identify the influence of muscle fatigue on motor transfer. (5) basketball players (20.65 - ± 2.62 years) applied fatigue test with ten attempts with recording EMG signal by sEMG device model (Noraxon, Myo Trace 400) and the researcher analyzed the signal by (Myo Research XP 1.06.67) software, and analyzing data by SPSS. The researcher find a significant decline in EMG signal in the fifth and tenth attempts comparison with the first attempt, and there were a significant difference between the active muscle with fatigue progress, and a significant differences in peak time between the three attempts for all the active muscles.

١ – التعريف بالبحث:

١ – ١ مقدمة البحث وأهميته:

تعد لعبة كرة السلة من الألعاب الفرقية التي تتطلب توافر عناصر اللياقة البدنية العامة والخاصة كافة لما تحويه اللعبة من مهارات هجومية ودفاعية متنوعة الأمر الذي يجعل حدوث التعب العضلي أمراً واقعياً لا مجال للهرب منه، وهو عامل مهم ومحدد في فوز الفريق أو خسارته. إن ظاهرة التعب بشكل عام ظاهرة متعددة النواحي والأسباب ويمكن أن تحدث في أكثر من جهاز عضوي واحد في جسم الإنسان الأمر الذي يجعل دراستها صعباً ويحدد من إمكانية حصر العوامل المؤثرة فيه وخاصة في أثناء الأداء أو المباريات، إذ قد يكون التعب نفسياً أو عقلياً أو بدنياً, وعلى العموم، فإن التعب هو محصلة متغيرات فسيولوجية عدة تحدث في مختلف أجهزة الجسم مما يؤدي إلى إحداث هبوط وقتي في الكفاءة العامة وينعكس تأثيره في الأداء إذ يؤدي إلى ضعف وهبوط الأداء وقلة التركيز وفقدان التوازن العصبي العضلي.

وقد وضع المختصين الكثير من التعاريف الخاصة بالتعب إذ عرفه (Gibson et al-2003) على أنه انخفاض في القدرة القصوى والسيطرة على الأفعال الحركية[١]، كما عرفته (Janet et al - 2008) على أنه انخفاض قابلية العضلة أو المجاميع العضلية على الأداء أو في القوة الإرادية القصوى أو القدرة[٢].

وإن أفضل الطرائق المعتمدة لقياس التعب العضلي هي بواسطة جهاز التخطيط الكهربائي للعضلة (EMG) والذي يعطي تصوراً واضحاً لما يحصل من تغير في كهربائية العضة داخلياً في أثناء الأداء والتعب، إذ إن قياس التعب عن طريق مؤشر انخفاض الأداء هو مؤشر نوعي ظاهري لا يعبر بشكل صحيح عن العضلة نفسها، إذ إن التخطيط الكهربائي للعضلة أداة صادقة وثابتة في قياس التعب العضلي الحاصل،إذ "يعطي جهاز (EMG) قياسات حقيقية للتغير في النشاط الكهربائي الحاصل في العضلة في أثناء التعب"[٣] وقد درس الكثير من الباحثين تأثيرات التعب العضلي في الإشارة الكهربائية للعضلة ومنذ عام (١٩١٢) [٤]. والى الوقت الحاضر، ولاحظ الباحثين حدوث زيادة في سعة الإشارة الكهربائية

(1) Gibson, A. S. C., Baden, D. A., Lambert, M. I., Lambert, E. V., Harley, Y. X. R., Hampson, D., et al. (2003). The conscious perception of the sensation of fatigue. Sports Medicine, 33(3), 167-176.P176.

(2) Janet L. Taylor and Simon C. Gandevia (2008). Fatigue Mechanisms Determining Exercise Performance A comparison of central aspects of fatigue in sub maximal and maximal voluntary contractions. J Appl Physiol 104: 542–550, P.542.

(3) Rudroff T, Staudenmann D, Enoka RM (2008) Electromyographic measures of muscle activation and changes in muscle architecture of human elbow flexors during fatiguing contractions. J Appl Physiol 104:1720–1726

(4) Basmajian JV, DeLuca CJ. Muscles alive, their functions revealed by electromyography. Baltimore (MD): Williams and Wilkins; 1985. P. 203.

(Amplitude) وانخفاض في صفة التردد الطيفي (Spectral Frequency) في أثناء حدوث التعب العضلي في العضلات العاملة[١]،

إذ بينت دراسة (Komi and Tesch - 1979) حدوث درجات عالية من الانخفاض في متوسط قدرة التردد (MPF)، كما لاحظ (Hagberg - 1981) انخفاض في متوسط قدرة التردد في أثناء التعب العضلي الناتج عن الانقباض الأمر الذي يؤدي إلى حدوث تغيرات في عمليات إنتاج الطاقة في الجسم، ولاحظ (Gerdle et al - 1989) حدوث تغير في متوسط قدرة التردد موازية للتعب الميكانيكي الحاصل في العضلات.[٢] كما توصلت دراسة (Johnston et al - 1998) إلى وجود فروق معنوية بين نتائج الاختبار قبل التعب وبعده في السيطرة الحركية الخاصة بالتوازن.[٣]

وكما هو معلوم بان التعب العضلي يؤثر سلباً في التوافق العصبي العضلي وبالتالي في الأداء الحركي ويمكن أن يؤثر التعب العضلي في النقل الحركي الحاصل بين مفاصل الجسم بشكل سلبي أيضاً ومن هنا تكمن أهمية البحث في دراسة تأثير التعب الحاصل نتيجة الأداء في النقل الحركي وتسلسل أداء المهارة (تسلسل عمل العضلات) وباستعمال تقنية التخطيط الكهربائي السطحي (sEMG) للعضلة فضلاً عن دراسة التغيرات الحاصلة في قيمة قمة ومتوسط ومساحة الإشارة الكهربائية للعضلات العاملة في مهارة التصويب من فوق الرأس بلعبة كرة السلة في مراحل مختلفة من التعب.

١-٢ مشكلة البحث:

تعد ظاهرة التعب حالة يومية ملازمة للفرد في أثناء الجهد البدني تؤدي إلى حدوث انخفاض في الأداء مما يستوجب على المدربين الإلمام الكامل بهذه الظاهرة لمحاولة التقليل من آثارها السلبية على المدى البعيد، وهذا لا يعني إن التعب بحد ذاته ظاهرة سلبية بل على العكس، لان حدوث التعب يعد مؤشراً لوصل اللاعب إلى الحدود القصوى لإمكانياته البدنية والنفسية والعقلية، وهنا يأتي دور المدرب في العمل على تأخير ظهور هذه الحالة إلى ابعد وقت ممكن كي يستطيع اللاعب الاستمرار في الأداء وبناتج جيد، فضلاً عن التخطيط الجيد للعملية التدريبية الذي يمنع حدوث حالات التدريب السلبية مثل التدريب الزائد (Over Training) والضغوط التدريبية والنفسية.

(1) Roger M. Enoka and Jacques Duchateau. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. J Physiol 586.1. 2008. P11. (IVSL)

(2) Stephen Minning, Colin A. Eliot, Tim L. Uhl, Terry R. Malone. EMG analysis of shoulder muscle fatigue during resisted isometric shoulder elevation. Journal of Electromyography and Kinesiology 17 (2007) 153–159. P.154.(IVSL)

(3) Johnston RB 3rd, Howard ME, Cawley PW, Losse GM. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. Med Sci Sports Exerc. 1998 Dec;30(12):1703-7.

وإن حدوث التعب قد يكون مركزياً أو طرفياً (محيطياً) وفي كلا الحالتين فإنه يؤثر سلبا في الأداء وهذا التأثير السلبي في الأداء يكون نتيجة عوامل عدة منها نقص مصادر الطاقة وتجمع نواتجها وحدوث الاختلال في عمليات النقل العصبي نتيجة تأثر مادة الاستيل كولين وكل ذلك وغيره يكون مسؤولاً عن حدوث اختلال في التوافق العصبي العضلي والذي ينعكس بدوره سلباً على عملية النقل الحركي بين أجزاء الجسم والخاصة بإتمام المهارة المعينة، ومن خلال إطلاع الباحث على المصادر العلمية والدراسات السابقة بهذا المجال لم يجد الباحث ما يهتم بدراسة النقل الحركي الخاص بمهارة التصويب بكرة السلة أو غيرها وتأثير التعب الحاصل فيها وباستعمال تقنية التخطيط الكهربائي السطحي (sEMG) للعضلات العاملة، فضلا عن مقارنة الإشارة الكهربائية للعضلات العاملة في مراحل مختلفة من التعب.

١-٣ أهداف البحث:

- التعرف على مقدار التغير الحاصل في النشاط الكهربائي[*] للعضلات العاملة[**] في مهارة التصويب من فوق الرأس بكرة السلة وفي مراحل مختلفة من التعب
- مقارنة النشاط الكهربائي للعضلات العاملة في مهارة التصويب من فوق الرأس بكرة السلة وفي مراحل مختلفة من التعب
- التعرف والمقارنة في تأثير التعب بمراحله المختلفة في تسلسل النقل الحركي بين العضلات العاملة في مهارة التصويب من فوق الرأس بكرة السلة

١-٤ فروض البحث:

- لا توجد فروق في النشاط الكهربائي للعضلات العاملة في مهارة التصويب من فوق الرأس بكرة السلة وفي مراحل التعب المختلفة.
- لا يوجد تأثير للتعب بمراحله المختلفة في تسلسل النقل الحركي بين العضلات العاملة في مهارة التصويب من فوق الرأس بكرة السلة.

١-٥ مجالات البحث:

١-٥-١ المجال البشري: عينة من لاعبي كرة السلة (الدرجة الممتازة).

١-٥-٢ المجال الزماني: للمدة من (٢٠١٣/٠١/٠٥) ولغاية (٢٠١٣/٠١/٣٠).

١-٥-٣ المجال المكاني: قاعة كرة السلة الداخلية / كلية التربية الرياضية / جامعة بغداد.

(*) تمثلت الإشارة الكهربائية بمتغيرات متوسط الكهربائية (Mean) والقمة (Peak) والمساحة (Area).

(**) تمثلت بالعضلات الآتية : التوأمية الأنسية (Med Gastrocnemius)، المستقيمة الفخذية (Rectus Femoris)، الرأس الوحشي للعضلة ثلاثية الرؤوس العضدية (Lat Triceps)، ثانية الرسغ الكعبرية (Flexor Carpi Radialis)

١-٦ تحديد المصطلحات:

- القمة (Peak): هي أقصى نشاط كهربائي للعضلة في تلك المرحلة (المرحلة المستهدفة) ويعد بوصفه مؤشراً عن قوة العضلة.
- متوسط الكهربائية (Mean): هو معدل النشاط الكهربائي خلال الفترة المستهدفة من العمل العضلي للعضلة المستهدفة.
- المساحة (Area): هي المنطقة التي تقع تحت سعة (EMG) عند تحليل مدة زمنية معينة من العمل العضلي.

٢- الدراسات النظرية والمرتبطة:

٢-١ فسيولوجيا حدوث التعب العضلي:

يعرف التعب فسيولوجيا بأنه عدم المقدرة على استمرار الاحتفاظ ببذل الجهد وهو يمثل موضوعاً حيوياً في مجال فسيولوجيا الرياضة لما له من دور هام في تحديد قدرات الإنسان على الأداء البدني وانعكاسه على العمل والإنتاج، وقد اتخذت مجالات الدراسات في مجال التعب اتجاهين أساسيين هما الكشف عن موضوع حدوث التعب، والأخر هو الكشف عن أسباب حدوث التعب.[١] ويعد التعب العضلي ظاهرة فسيولوجية مركبة ومتعددة الأوجه، إذ يختلف التعب باختلاف نوع العمل العضلي الثابت أوالمتحرك كما يختلف وفق اختلاف درجة وشدة العمل العضلي ومدة دوامه. [٢] وتعتمد درجة التعب العضلي على عوامل عدة منها مقدار القوة المتولدة، ومدة الانقباض العضلي، ومدة الراحة بين الانقباضات العضلة، ونوع الألياف العضلية، وسرعة التوصيل العصبي للعضلات العاملة. [٣] كما إن التعب العضلي يعتمد على نوع التمرين المؤدى ونوع الألياف العضلية ودرجة الياقة البدنية للاعب نفسه وعوامل التغذية، أما عن أنواع التعب العضلي فأنه يقسم إلى نوعين وعلى وفق أماكن حدوثه الأول هو التعب المركزي (Central Fatigue) وهو الذي يحدث في الجهاز العصبي المركزي (الدماغ، الحبل الشوكي) والآخر هو التعب الطرفي أو المحيطي (Peripheral Fatigue) ويحدث في أماكن الجهاز العضلي. [٤] إذ يحدث التعب في المشتبك العصبي العضلي بسبب عدم القدرة على تحرير الاستيل كويل من نهايات الأعصاب أو سبب

(١) أبو العلا عبدالفتاح: فسيولوجيا التدريب والرياضة: ط١، القاهرة، دار الفكر العربي، ٢٠٠٣، ص١٢٨.
(٢) علي البيك وهشام مهيب و علاء عليوة: راحة الرياضي، الإسكندرية، منشاة المعارف، ١٩٩٤، ص٢٥.
(3) Stephen Minning, Colin A. Eliot, Tim L. Uhl, Terry R. Malone. Op-Cit. P.154. (IVSL)

(4) Sharon A. Plowman and Denis L. Smith. Exercise Physiology for Health, Fitness and Performance. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business. 2011. P543.

تثبيط معدل تنشيط (احتراق) الأعصاب الحركية أو بسبب نفوذ مصادر الطاقة، أو بسبب تجمع نواتج عمليات إنتاج الطاقة وخاصة حامض اللبنيك الذي يؤدي إلى حدوث زيادة في حامضية الدم. (١)

وعموما فان التعب العضلي لا يمثل نقطة فشل الأداء أو الحد الذي تُجهد عنده العضلة بل إن التعب هو انخفاض في قوة أو قدرة العضلات العاملة وهو يتطور ويزداد تدريجيا وبشكل خطي بعد مرحلة حدوث التعب في أثناء الجهد البدني(٢)

٢-٢ تأثيرات التعب العضلي الفسيولوجية:

يؤثر التعب العضلي بشكل عام في القوة المنتجة ويقلل من سرعة الانقباض العضلي ويقلل من درجة التوافق والتوازن وزمن رد الفعل والسيطرة الحركية، وقد بينت نتائج الدراسات بأن التعب العضلي يؤثر سلباً في صناعة القرار (اتخاذ القرار) في أداء مهارة التصويب لدى لاعبي كرة الماء، إذ يزيد التعب العضلي من زمن اتخاذ القرار ويقلل من الأداء المهاري، وفي دراسة أخرى هدفت إلى معرفة أثر التعب العضلي للأطراف السفلى في السيطرة الحركية وباستعمال اختبار التوازن، وبينت النتائج إن التعب العضلي يقلل من قابلية الفرد على التوازن وبشكل معنوي وهذا بدوره يزيد من احتمالية حدوث الإصابات الرياضية، وفي دراسة أخرى بينت النتائج إن التعب العضلي يتسبب في انخفاض قدرة الرباع في أداء الرفعات بنسبة (٣١%). وفي دراسة أخرى تناولت تأثير الركض على جهاز السير المتحرك بشدد مختلفة من الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين في زمن رد الفعل لدى لاعبي كرة السلة؛ وبينت النتائج تأثر زمن رد الفعل سلبياً بسبب حدوث التعب العضلي، كما بينت دراسة أخرى إنه بعد حدوث التعب العضلي فإنه يحدث انخفاض معنوي في عزوم القوة لكلا حركتي ثني الركبة ومدها. (٣)

٣-منهج البحث وإجراءاته:

٣-١ منهج البحث:

أستعمل الباحث المنهج الوصفي بأسلوب المسح لمناسبته طبيعة البحث.

٣-٢ عينة البحث:

تم اختيار عينة البحث بالطريقة العمدية والمتمثلة بخمسة لاعبي كرة سلة من الدرجة الممتازة ومن ذوي الخبرة والجدول (١) يبن تجانس عينة البحث

(1) Stanley P. Brown, Wayne C. Miller, Jane M. Eason. Exercise Physiology Basis of Human Movement in Health and Disease. Lippincott Williams & Wilkins. 2006. P277.

(2) Roger M. Enoka and Jacques Duchateau. Muscle fatigue: Op-Cit. P12.

(3) Gursu Samancioglu. Effect of Fatigue on Kinematics and Accuracy of Basketball Free Throw Shooting. A Thesis. Central Connecticut State University. New Britain, Connecticut. 2010. P11.

المتغيرات	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوسيط	الالتواء
العمر (سنة)	٢١.٦٠	١.١٤٠	٢٢.٠٠٠	٠.٤٠٥
الطول (سم)	١٨٥.٢٠	١.٩٢٤	١٨٥	٠.٥٩٠
الوزن (كغم)	٨٨.٨٠	٢.١٦٨	٨٨.٠٠٠	٠.٩١٣

٣-٣ الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:

- المصادر العلمية العربية والأجنبية و شبكة المعلومات الدولية والمكتبة الافتراضية العراقية (Iraqi Virtual Science Library – www.ivsl.org).
- أشرطة لاصقة وشريط قياس متري وملعب وكرات سلة عدد (١٢).
- جهاز (EMG) نوع (Myo Trace 400) يعمل بأربع قنوات يسجل كهربائية أربع عضلات في وقت واحد ويعمل بإشارة البلوتوث ولمسافة (٢٠)م.
- حاسوب شخصي (Laptop) نوع (Compac HP).
- كحول معدوم, وطن، وشفرات حلاقة, وأشرطة لاصقة طبية لتثبيت أسلاك الجهاز على الرجل لمنع حركتها.

٣-٤ القياسات المستعملة في البحث:

استعمل الباحث اختبار مركب (بدني – مهاري) لإيصال اللاعبين إلى مرحلة التعب القصوى وبالاعتماد على قياس معدل ضربات القلب[*]، إذ يقوم اللاعب بالطبطبة من خط القاعدة للملعب باتجاه خط الرمية الحرة المقابلة وأداء التهديف بالقفز من فوق الرأس منتصف من على خط الرمية الحرة، ثم الرجوع إلى خط القاعدة واستلام الكرة مرة أخرى، وتم تكرار الأداء لعشر محاولات مع قياس معدل ضربات القلب بعد المحاولة الأولى والخامسة والعاشرة.

٣-٥ تجربة البحث الرئيسة:

تم البدء بتطبيق مفردات التجربة الرئيسة يوم الأربعاء الموافق (٢٠١٣/٠١/٢٠) في تمام الساعة (١٠) صباحاً في قاعة الداخلية لكرة السلة في كلية التربية الرياضية / جامعة بغداد وبمساعدة فريق العمل المساعد[*]،وتم تسجيل الأداء بواسطة الكاميرا الخاصة بجهاز الحاسوب المحمول والمتزامنة مع تسجيل الإشارة الكهربائية لجهاز (sEMG)، وقبل بدء التجربة تم شرح طريقة تنفيذ الاختبار لعينة البحث وعرض نموذج للأداء.

(*) بلغ متوسط معدل ضربات القلب في المحاولة الأولى من الاختبار (٩٤ ض/د).
وبلغ متوسط زمن أداء الاختبار (٢-٥٠) دقيقة وأقصى شدة.

(*) فريق العمل المساعد ضم الذوات أدناه:
- أ.م.د. مهند عبد الستار عبدالهادي/تدريسي في كلية التربية الرياضية/جامعة بغداد/تخصص التدريب الرياضي.
- أ.م.د. ليث فارس جميل/تدريسي في كلية التربية الرياضية/جامعة بغداد/تخصص البايوميكانيك.
- أ.م.د. فارس سامي يوسف/تدريسي في كلية التربية الرياضية/جامعة بغداد/تخصص الاختبارات والقياس.
- م.د. لؤي سامي رفعت/تدريسي في كلية التربية الرياضية/جامعة بغداد/تخصص التدريب الرياضي.

بعدها تم تحديد موقع العضلات المستهدفة وتم حلاقة الشعر من على سطح الجلد تحت موقع اللاقطات, ومسح المنطقة بالكحول لإزالة إفرازات الجلد والجلد المتقرن من سطحه وذلك للتقليل من مقاومته للإشارات الكهربائية وللحصول على إشارة كهربائية بجودة عالية, وتم وضع أربع لاقطات سطحية لتسجيل إشارة (sEMG) فوق العضلة التوأمية الأنسية (Med Gastrocnemius) والعضلة المستقيمة الفخذية (Rectus Femoris) والرأس الوحشي للعضلة ثلاثية الرؤوس العضدية (Lat Triceps) والعضلة ثانية الرسغ الكعبرية (Flexor Carpi Radialis) للرجل والذراع القائدة (المسيطرة), كما تم تثبيت لاقط إضافي واحد للجهاز يعمل على إزالة الكهربائية التي يلتقطها الجسم من المحيط ويطلق عليه اللاقط الأرضي وقطره (١) سم والبعد بين مركزي اللاقطين فوق العضلة (٢) سم, ولتحديد حركة الأسلاك؛ وضع فوقها شريط لاصق لتثبتها على الرجل والذراع بشكل محكم.

وعند قيام اللاعب بإجراء الاختبار يقوم جهاز (sEMG) المثبت على خصر اللاعب باستلام الإشارات الكهربائية من اللاقطات الموجودة على العضلات السالفة الذكر وبثها لاسلكياً (Bluetooth) إلى جهاز الاستقبال الموجود عن بعد ليتم خزن الإشارة في جهاز الحاسوب وبوساطة ببرنامج خاص (Myo Research XP 1.06.67)، فضلاً عن ربط الكاميرا الخاصة بالحاسوب لتسجيل مراحل الأداء، إذ يعمل الجهاز على تزامن التخطيط الكهربائي للعضلات مع التصوير الفيديوي ليتم التعرف على الإشارات الكهربائية المختلفة في أثناء مراحل الأداء كافة. ثم تبع ذلك القيام بعملية تحليل الإشارة والحصول على البيانات الخام لغرض معاملتها إحصائياً. كما تم قياس معدل ضربات القلب بعد المحاولة الأولى والخامسة والعاشرة.

٣-٦ الوسائل الإحصائية:

استعمل الباحث الحقيبة الإحصائية الجاهزة (SPSS) للحصول على نتائج البحث من خلال القوانين الآتية: الوسط الحسابي، والانحراف المعياري، واختبار القياسات المتكررة، واختبار اقل فرق معنوي (LSD).

٤-عرض النتائج وتحليلها ومناقشتها:

الجدول (٢)

يبين الأوساط الحسابية والانحرافات المعيارية لمتغيرات التخطيط الكهربائي للعضلات قيد البحث وزمن قممها ومعدل ضربات القلب في المحاولات الثلاثة

العضلة	المتغيرات	المحاولة ١		المحاولة ٥		المحاولة ١٠	
		سَ	ع	سَ	ع	سَ	ع
المستقيمة الفخذية	المتوسط (uV)	١٤٠.٠٠	١٨.٨٠٩	١١٠.٩٦	٥٢.٩٨	٥٧.٠٢	٦.٠٧
	القمة (uV)	٤١٦.٢٠	٥٢.٨٠	٢٨٣.٤٠	١٦٣.٤٨	١٥٩.٠٠	٦٢.٢١
	المساحة (Uv*s)	٥٩.٦٤	٥.٥٢	٤٧.٤٨	٢٢.١٥	٢٥.٥٨	٢.٣٦
	الزمن (ملي ثانية)	٠.٠٧٨	٠.٠٣٣	٠.٢٥٦	٠.١٣٤	٠.٣٧٣	٠.٠٦٧
التوأمية الأنسية	المتوسط (uV)	٢٠٩.٣٤	١٤٨.٩٤	٦٥.٠٤	٣٧.٧١	١٧٩.٧٢	٩٢.٤٤
	القمة (uV)	٤٤٠.٧٤	٢٥٥.٣٣	١٨٤.٣٦	١٤٥.٣٦	٤٧٥.٣٠	٢٥٤.٤٨
	المساحة (Uv*s)	٩٣.٦٨	٧٢.٧٧	٢٧.٩١	١٥.٨٦	٨٠.٧٩	٤١.٨٨
	الزمن (ملي ثانية)	٠.١٢٣٦	٠.٠٠٣	٠.١٨١٢	٠.١٧١	٠.١٨٧٤	٠.١٤٤
ثلاثية الرؤوس العضدية الرأس الطويل	المتوسط (uV)	٣٦٢.٠٠	٣١.٨٧٥	١١٩.١٦	٧٣.٩٩	٨٣.٧٢	٨٨.٨٠
	القمة (uV)	٨٩٢.٢٠	٨٠.٣١	٢١٤.٦٠	٩٧.٣٩	١٣٥.٢٢	١٤٤.٢٧
	المساحة (Uv*s)	١٤٥.٦٠	١٧.٠٢	٥١.٩٨	٣٤.٢٩	٣٦.٦١	٣٨.٢٤
	الزمن (ملي ثانية)	٠.٣٥٥٢	٠.٠٠٣	٠.١٥٩٦	٠.٠٠٣	٠.٣٠٩٠	٠.١٦١٦
ثانية الرسغ الكعبرية	المتوسط (uV)	٢٤٠.٦٠٠	٣٤.٧٨٢	٤٠.٨٨٠	١٠.١٩	٥٩.٤٨	٢١.٠٩
	القمة (uV)	٧٢٨.٢٠٠	٢٣١.٨٣	٨٤.٣٢	٢٢.٥٤	١٣٧.٦٠	٢٢.٥١
	المساحة (Uv*s)	١٠٣.٦٨	٢٣.٠٤	١٧.٣٠	٣.٥٠	٢٧.٣٤	١٠.٠١
	الزمن (ملي ثانية)	٠.٣٦٩٤	٠.٠٢٦	٠.١٦٨٤	٠.١٦٤٠	٠.٢٤٨٦	٠.١٢٠٧
معدل ضربات القلب (ض/د)		٩٤.٠٠	١٣.٤٢	١٧٨.٠٠	٧.٥٨٣	٢٠٤	٤.١٨
الزمن الكلي (ملي ثانية)		٠.٤٤٠	٠.٠٠٧	٠.٤٤٨	٠.٠٠٢	٠.٤٢١	٠.٠٠٣

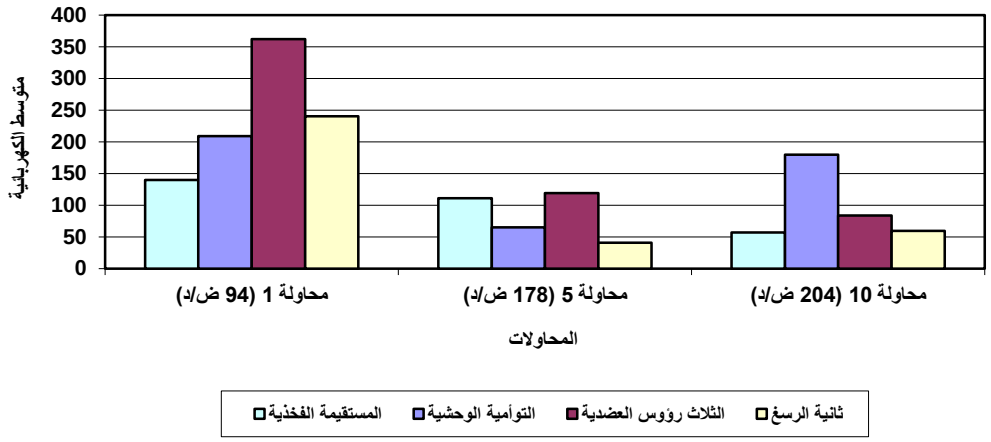
الجدول (٣)

يبين قيم (F) المحسوبة لاختبار القياسات المتكررة بين المحاولات الثلاثة في متغيرات التخطيط الكهربائي للعضلات قيد البحث وزمن قممها ومعدل ضربات القلب والفروق المتحققة بين المحاولات

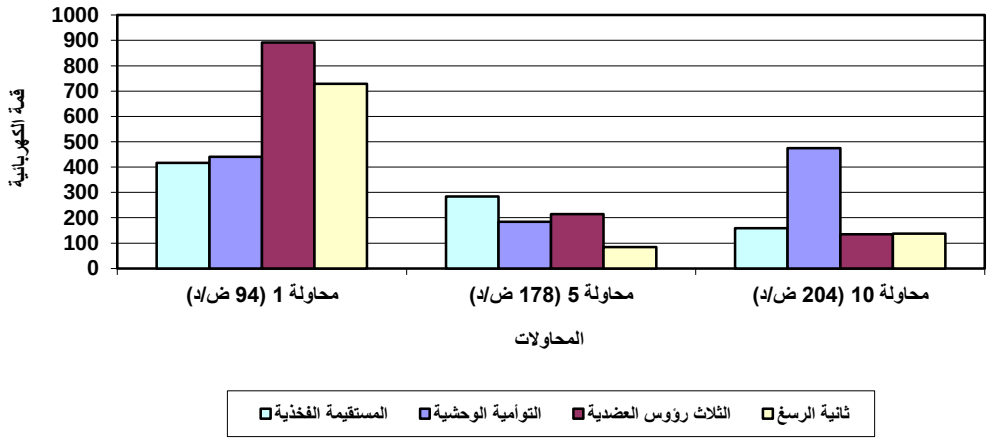
العضلة	المتغيرات	قيمة F	مستوى الخطأ	اقل فرق معنوي (LSD)		
				م ١- م٥	م ١- م١٠	م ٥- م١٠
المستقيمة الفخذية	المتوسط (uV)	٧٥.١٣٩	٠.٠٣٣	٢٩.٤٤	*٨٣.٣٨	٥٣.٩٤
	القمة (uV)	١٠٧.٦٥	٠.٠٠٠	١٣٢.٨٠	*٢٥٧.٢٠	١٢٤.٤٠
	المساحة (Uv*s)	٢٣١.٦٩	٠.٠٠١	١٢.١٦٠	*٣٤.٠٦	٢١.٩٠
	الزمن (ملي ثانية)	٧٣.٧٤٦	٠.٠٠٣	*٠.١٧٨	*٠.٢٩٥	٠.١١٧
التوأمية الأنسية	المتوسط (uV)	٦.٠٣٤	٠.٠٣٩	*١٤٤.٣٠	٢٩.٦٢٠	*١١٤.٦٨
	القمة (uV)	٧.٧٥٣	٠.٠٤٣	*٢٥٦.٣٨	٣٤.٥٦	*٢٩٠.٩٤
	المساحة (Uv*s)	٥.٩٩٧	٠.٠٤٠	٦٥.٧٦	١٢.٨٩	*٥٢.٨٧
	الزمن (ملي ثانية)	٠.٦٦٤	٠.٥٧٧	٠.٠٥٧	٠.٠٦٣	٠.٠٠٦
ثلاثية الرؤوس العضدية الرأس الوحشي	المتوسط (uV)	٢٨.٩٨٩	٠.٠١١	*٢٤٢.٨٤	*٢٧٨.٢٨	*٣٥.٤٤
	القمة (uV)	٤٦.٣٨١	٠.٠٠٦	*٦٧٧.٦٠	*٧٥٦.٩٨	*٧٩.٣٨
	المساحة (Uv*s)	٥٠.٣٤٨	٠.٠٠٥	*١٠٢.٦٢	*١١٧.٩٩	*١٥.٣٧
	الزمن (ملي ثانية)	١٢٥.٩٢	٠.٠٠١	*١٩٦	٠.٠٤٦	٠.١٤٩
ثانية الرسغ الكعبرية	المتوسط (uV)	١٤٩.٠١	٠.٠٠٠	*١٩٩.٧٢	*١٨١.١٢	١٨.٦٠
	القمة (uV)	١٤.٠٦٩	٠.٠٣٠	*٦٤٣.٨٨	*٥٩٠.٦٠	*٥٣.٢٨
	المساحة (Uv*s)	٦٣٩.٧٣	٠.٠٠٠	*٨٦.٣٨	*٧٦.٣٤	١٠.٠٤
	الزمن (ملي ثانية)	٦.٦٩٨	٠.٠٤٥	*٠.٢٠١	٠.١٢١	٠.٠٨٠
معدل ضربات القلب (ض/د)		٢٠٦.٠٧٩	٠.٠٠١	*٨٤.٠٠	*١١٠.٠٠	*٢٦.٠٠
الزمن الكلي (ملي ثانية)		٣.٤٢٨	٠.١٦٨	٠.٠٠٨	٠.٠٠٢	٠.٠٢٧

* معنوي عند مستوى الخطأ (٠.٠٥).

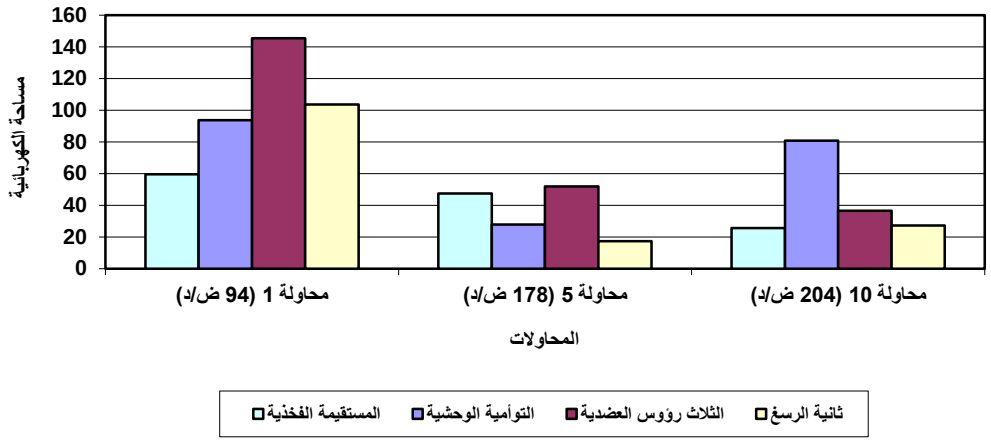
الشكل (1) متوسط الكهربائية للعضلات العاملة في المحاولات الثلاثة



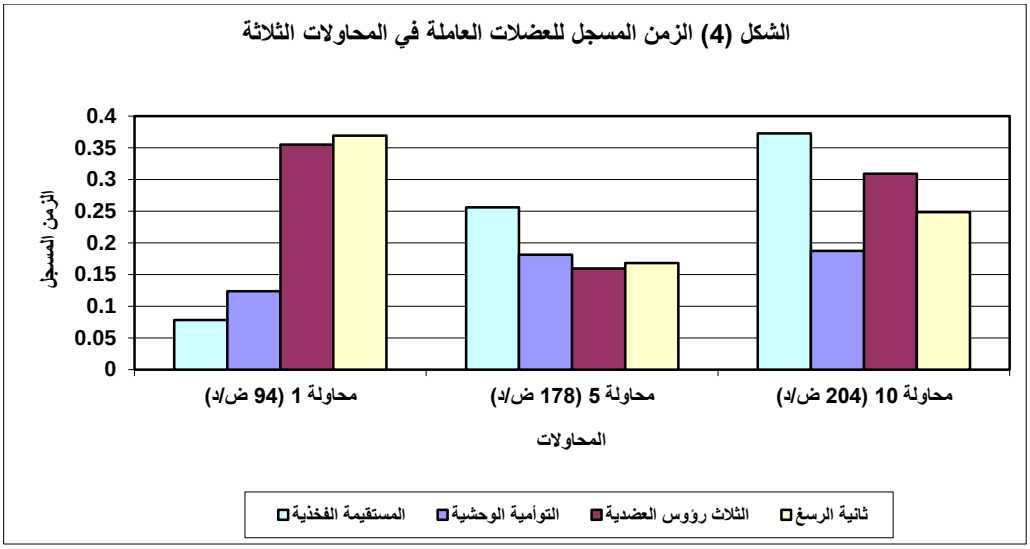
الشكل (2) قمة الكهربائية للعضلات العاملة في المحاولات الثلاثة



الشكل (3) مساحة الكهربائية للعضلات العاملة في المحاولات الثلاثة



الشكل (4) الزمن المسجل للعضلات العاملة في المحاولات الثلاثة



مناقشة النتائج:

يلحظ من الجدولين (٢) و (٣) والأشكال البيانية (١-٢-٣-٤) إن هناك انخفاض في متغيرات الإشارة الكهربائية (المتوسط والقمة والمساحة)، إذ أظهرت نتائج تحليل القياسات المتكررة فروقاً معنوية عند مستوى الخطأ (٠.٠٥) بين المحاولات الثلاثة (الأولى والخامسة والعاشرة)، ويعزو الباحث ذلك إلى حدوث ظاهرة التعب في العضلات العاملة لدى اللاعبين مما أدى إلى حدوث هذا الانخفاض المعنوي في الإشارة الكهربائية بين المحاولات الثلاثة، وبما انه "لا يوجد انخفاض في معدل القدح (Firing) في الأعصاب الحركية في أثناء التعب"[١]؛ وإن التعب العضلي ممكن أن يحدث في الجهاز العصبي (التعب المركزي) أو في العضلة نفسها (التعب الطرفي أو المحيطي) وإن ما حدث للاعبين نتيجة تكرار الأداء بشدة عالية أدى إلى حدوث تعب طرفي متمثل باستهلاك مصادر الطاقة، إذ يذكر (Wilmore and Costill-1999) بان من أسباب حدوث التعب العضلي هي استنفاد مصادر الطاقة المستعملة المتمثلة بفوسفات الكرياتين والكلايكوجين اللذان يستعملان في إنتاج ثلاثي ادينوسين الفوسفات (ATP)، كما يعد تجمع ايونات الهيدروجين (H^+) المتولدة بسبب تراكم حامض اللبنيك مسؤولاً عن حدوث التعب العضلي. كما إن التعب ممكن أن يحصل في مناطق الاتصال العصبي العضلي بسبب انخفاض تحرر المركب الكيميائي الاسيتيل كولين أو بسبب زيادة فاعلية إنزيم كولين استيريز الذي يعمل على تفكيك الاسيتيل كولين. [٢]

(1) Paul Cordo and Stevan Harnad. Movement Control, 1st Published, Cambridge University Press, 1994, P.30.

(2) Jack H. Wilmore and David L. Costill; Physiology of Sport and Exercise.2nd Edition, USA, Human Kinetics, 1999. P.151.

إن حدوث التعب أدى إلى انخفاض الإشارة الكهربائية للعضلات العاملة وهذا دليل على انخفاض قوة العضلات بسبب ضعف الانقباضات العضلية المتولدة، إذ تقوم العضلات في مثل هكذا حالات إلى حماية نفسها عن طريق تقليل قوة انقباضاتها وهذا ما تفسره نظرية حكمة العضلة (Muscle Wisdom) والتي تنص على: " تعمل العضلات على تقليل معدل عمل الوحدات الحركية كي تتلائم مع التغير الحاصل في حالة العضلة في أثناء التعب."[١] وهي حالة وقائية تحاول فيها العضلة والجهاز العصبي الحد من حدوث الإصابات التي يتوقع حدوثها نتيجة التعب العضلي.

كما انخفاض الإشارة الكهربائية آت نتيجة حدوث التعب المركزي الذي يؤثر بدوره على الانقباض العضلي، إذ يذكر (Enoka and Duthateau-2008) بحدوث انخفاض في فاعلية العضلات بفعل الجهاز العصبي، إذ تشير نتائج دراسة (Similary et al -2007) إلى انخفاض قوة العضلات الثانية لمفصل المرفق بنسبة (٤١.٤%) وبانحراف معياري مقداره (١٣.٢) عند أداء الانقباض العضلي المتحرك للمفصل بشدة (٢٥%) من الشدة القصوى. [٢]

أما عن سبب ارتفاع الإشارة الكهربائية في بعض العضلات في المحاولة العاشرة عن الخامسة فإن الباحث يعزيه إلى إن شعور اللاعب بالفشل من عدم تمكنه من الأداء بسبب التعب؛ يحذو به إلى توليد قوة عضلية إضافية لغرض إتمام العمل العضلي، وفي هذا الصدد تذكر (Janet et al - 2008) بأنه عند تعب الألياف العضلية العاملة فإن الشخص يزيد من الجهد الإرادي لعضلاته وذلك بتجنيد وحدات حركية اكبر (أو/و) معدل القدح. [٣]، كما يذكر (Paola et al - 2009) بأنه الجهاز العصبي المركزي يعمل على تنظيم عملية إنتاج القوة في العضلات العاملة وذلك عن طريق التحكم بعدد الوحدات لحركية الجديدة الضرورية اللازمة للانقباض وعن طريق معدل القدح (Firing) للوحدات الحركية الفعالة. [٤] كما يذكر (Adama and de luca - 2005) بأن انخفاض الإشارة الكهربائية بسبب التعب يمكن أن يُتبع بارتفاع في الإشارة وذلك لاستمرارية انقباض العضلة ولحد الوصول إلى مرحلة الإجهاد.[٥]

أما عن سبب اختلاف الإشارة الكهربائية واختلاف استجابة العضلات للتعب فإن الباحث يعزيه إلى اختلاف مكونات العضلات من حيث نوع الألياف العضلية البيضاء والحمراء، إذ يذكر (الهزاع – ٢٠٠٩)

(1) Benjamin K. Barry and Roger M. Enoka. The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. Oxford University Press on behalf of the Society for Integrative and Comparative Biology. 2007. P466. (IVSL)

(2) Roger M. Enoka and Jacques Duchateau. Muscle Fatigue. Op-Cit. 2008. P١٤.

(3) Janet L. Taylor and Simon C. Gandevia. A comparison of central aspects of fatigue in sub maximal and maximal. voluntary contractions. J Appl Physiol 104: 542–550, 2008. P545.

(4) Paola Contessa, Alexander Adam, and Carlo J. De Luca. Motor unit control and force fluctuation during fatigue. J Appl Physiol 107: 235–243, 2009. P235.

(5) Alexander Adam and Carlo J. De Luca. Firing rates of motor units in human vastus lateralis muscle during fatiguing. isometric contractions. J Appl Physiol 99: 268–280, 2005.

بأن العضلة العضدية ذات الثلاث رؤوس تحوي على نسبة عالية من الألياف العضلية السريعة وبنسبة (٦٠-٨٠%) في حين تحتوي العضلة الفخذية المستقيمة والتوأمية في الغالب على مزيج من النوعين يصل إلى حوالي (٥٠%) لكل نوع. [١] كما إن الألياف العضلية السريعة (Type II) تتعرض للتعب بشكل أسرع من نظيرتها البطيئة (Type I)، إذ يذكر (Tudor - 2003) بأن الألياف من النوع الأول تكون أكثر مقاومة للتعب أما الألياف من النوع الثاني فتكون عكس الأولى إذ تولد قدرة كبيرة بسرعة عالية وتحوي على كمية قليلة من المايوكلوبين العضلي وعلى عدد قليل من المايتوكوندريا وهي تتعرض للتعب بشكل أسرع. [٢]

أما فيما يخص التوافق الخاص بالنقل الحركي بين مفاصل الجسم في أثناء تأدية التصويب من فوق الرأس بكرة السلة فإننا نلحظ حدوث تفاوت كبير في زمن المسجل والخاص بقمة الإشارة الكهربائية بين المحاولات الثلاثة وهذا ما يبينه الشكل البياني (٤)، إذ نلحظ إنه في المحاولة الأولى والتي كان فيها مستوى التعب منخفضاً حقق اللاعبين توافقاً حركياً صحيحاً في النقل الحركي، إذ بدأت العضلة المستقيمة الفخذية في العمل أولاً من أجل إحداث المد الكامل في مفصل الركبة تبعتها العضلة التوأمية الأنسية التي تعمل على الدفع باتجاه الأعلى لتحقيق القفز ثم عمل الرأس الوحشي للعضلة ذات الثلاث رؤوس العضدية من اجل إتمام حركة المد الكامل لمفصل المرفق لغرض التصويب وأخيرا عملت العضلة ثانية الرسغ الكعبرية من اجل ثني الرسغ لغرض توجيه الكرة نحو الحلق.

في حين نلحظ في المحاولة الخامسة بدء العمل بالرأس الوحشي للعضلة ذات الثلاث رؤوس العضدية تبعتها العضلة ثانية الرسغ الكعبرية ثم العضلة التوأمية الأنسية وأخيراً العضلة المستقيمة الفخذية، وأما في المحاولة العاشرة فنلحظ بدء العمل بالعضلة التوأمية الأنسية ثم تبعتها العضلة ثانية الرسغ الكعبرية ثم الرأس الوحشي للعضلة ذات الثلاث رؤوس العضدية وأخيراً العضلة المستقيمة الفخذية.

وهذا يدل على حدوث ارتباك في عملية النقل الحركي نتيجة حدوث ضعف في التوافق العصبي العضلي نتيجة التعب المركزي والطرفي، وهو ما انعكس على زمن قمة كل عضلة فضلاً عن حدوث الهبوط في الإشارة الكهربائية مما أدى إلى إشراك عضلات أخرى تضافرت قوتها مع العضلات العملة لأجل إتمام الحركة. كما أن حدوث ظاهرة التعب تتبعها حدوث تغيرات معقدة في وظائف الأجهزة الحيوية المختلفة في الجسم والتي حددها (البيك وآخران – ١٩٩٤) بالإخلال بعمليات التوافق العصبي العضلي ووظائف الجهاز الحركي وانخفاض شدة وكفاءة العمل البدني وبطئ الحركة والإخلال بتوافقها ودقتها. [٣]

(١)هزاع بن محمد الهزاع؛ فسيولوجيا الجهد البدني الأسس النظرية والإجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية، ج١، المملكة العربية السعودية، جامعة الملك سعود، النشر العلمي والمطابع، ٢٠٠٩، ص٢٢٧.

(2) Tudor Hale. Exercise Physiology-AThematic A pproach. JohnWiley & Sons Ltd. London. 2003. P.160..

(٣) علي البيك وهشام مهيب وعلاء عليوة: راحة الرياضي: مصدر سبق ذكرة، ص٢٥.

كما إن سبب ضعف التوافق والنقل الحركي يكون بسبب الايعازات العصبية الواردة إلى العضلات واستجابة العضلات له بشكل متفاوت وغير منتظم بسبب التعب، إذ تذكر (Janet et al - 2008) بأنه بحدوث التعب فإن بعض الوحدات الحركية لا يتم تجنيدها للعمل العضلي أو إن عملية القدح لا تتم بالسرعة الكافية لأجل إتمام الانقباض العضلي في لحظة ورود التنبيه العصبي. [١] كما يذكر (Joseph et al - 1997) بأن حدوث التعب لدى العدائين يؤدي إلى حدوث تغيير في ميكانيكية الهبوط في أثناء الجري كما أشار إلى حدوث تغير ملحوظ في نقل الطاقة الحركية بين حركتي الثني والمد. [٢]

٥ – الاستنتاجات والتوصيات:

٥-١ الاستنتاجات:

١. أدى تعرض عينة البحث للجهد البدني إلى حدوث هبوط في الإشارة الكهربائية (القمة والمتوسط والمساحة) للعضلات العاملة التوأمية الأنسية، المستقيمة الفخذية، الرأس الوحشي للعضلة ثلاثية الرؤوس العضدية، ثانية الرسغ الكعبرية في المحاولتين الخامسة والعاشرة عن المحاولة الأولى.
٢. وجود فروق معنوية في قيم الإشارة الكهربائية المسجلة (القمة والمتوسط والمساحة) للعضلات العاملة بين المحاولات الأولى والخامسة والعاشرة.
٣. حدوث تفاوت في عمل العضلات بتقدم التعب العضلي مما يدل على حدوث ضعف في التوافق العصبي العضلي الملازم لحالة التعب.
٤. وجود تباين بين أزمنة القمم المسجلة للعضلات العاملة كافة بين المحاولات الأولى والخامسة والعاشرة.
٥. حدوث تفاوت في عملية النقل الحركي بين العضلات العاملة في مهارة التصويب بالقفز من فوق الرأس بكرة السلة مما اثر سلبا على عملية النقل الحركي بين مفاصل الجسم بسبب ظاهرة التعب.

٥-٢ التوصيات:

١. إجراء دراسات أخرى حول التعب وتحليل النتائج باستعمال تطبيقات التعب والطيف الترددي.
٢. إجراء البحوث الخاصة بالتعب باستعمال الانقباض الثابت ومقارنته بالانقباض المتحرك.
٣. إجراء دراسات حول التعب الحاصل في العضلات ومعرفه تأثيره وعلاقته بالتغيرات الكينماتيكة والكنيتيكية.
٤. دراسة التعب الحاصل نتيجة الأداء في العضلات العاملة والمضادة ومعرفة التغير الحاصل بينهما.

(1) Janet L. Taylor and Simon C. Gandevia. Op-Cit. P543.

(2) Joseph Mizrahi, Arkady Voloshin, Dalia Russek, Oleg Verbitsky and Eli Isakov. The Influence of Fatigue on EMG and Impact Acceleration in Running. Basic Appl Myol 7 (2): 111-118, 1997. P116.

المصادر

- أبو العلا عبدالفتاح: فسيولوجيا التدريب والرياضة: ط١، القاهرة، دار الفكر العربي، ٢٠٠٣.
- علي البيك وهشام مهيب و علاء عليوة: راحة الرياضي، الإسكندرية، منشاة المعارف، ١٩٩٤.
- هزاع بن محمد الهزاع؛ فسيولوجيا الجهد البدني الأسس النظرية والإجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية، ج١، المملكة العربية السعودية، جامعة الملك سعود، النشر العلمي والمطابع، ٢٠٠٩.

- Alexander Adam and Carlo J. De Luca. Firing rates of motor units in human vastus lateralis muscle during fatiguing. isometric contractions. J Appl Physiol 99: 268–280, 2005.
- Basmajian JV, DeLuca CJ. Muscles alive, their functions revealed by electromyography. Baltimore (MD): Williams and Wilkins; 1985.
- Gibson, A. S. C., Baden, D. A., Lambert, M. I., Lambert, E. V., Harley, Y. X. R., Hampson, D., et al. (2003). The conscious perception of the sensation of fatigue. Sports Medicine, 33(3).
- Gursu Samancioglu. Effect of Fatigue on Kinematics and Accuracy of Basketball Free Throw Shooting. A Thesis. Central Connecticut State University. New Britain, Connecticut. 2010.
- Jack H. Wilmore and David L. Costill; Physiology of Sport and Exercise.2nd Edition, USA, Human Kinetics, 1999.
- Janet L. Taylor and Simon C. Gandevia. A comparison of central aspects of fatigue in sub maximal and maximal. voluntary contractions. J Appl Physiol 104: 542–550, 2008.
- Johnston RB 3rd, Howard ME, Cawley PW, Losse GM. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. Med Sci Sports Exerc. 1998 Dec;30(12).
- Joseph Mizrahi, Arkady Voloshin, Dalia Russek, Oleg Verbitsky and Eli Isakov. The Influence of Fatigue on EMG and Impact Acceleration in Running. Basic Appl Myol 7 (2): 111-118, 1997.
- Paola Contessa, Alexander Adam, and Carlo J. De Luca. Motor unit control and force fluctuation during fatigue. J Appl Physiol 107: 235–243, 2009.
- Paul Cordo and Stevan Harnad. Movement Control, 1st Published, Cambridge University Press, 1994.
- Rudroff T, Staudenmann D, Enoka RM (2008) Electromyographic measures of muscle activation and changes in muscle architecture of human elbow flexors during fatiguing contractions. J Appl Physiol 104.

- Sharon A. Plowman and Denis L. Smith. Exercise Physiology for Health, Fitness and Performance. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business. 2011.
- Stanley P. Brown, Wayne C. Miller, Jane M. Eason. Exercise Physiology Basis of Human Movement in Health and Disease. Lippincott Williams & Wilkins. 2006.
- Tudor Hale. Exercise Physiology-AThematic A pproach. JohnWiley & Sons Ltd. London. 2003. P.

مصادر المكتبة الافتراضية العراقية (IVSL)

- Benjamin K. Barry and Roger M. Enoka. The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. Oxford University Press on behalf of the Society for Integrative and Comparative Biology. 2007.(IVSL)
- Kiryu, Tohru . Murayama, Toshio. Ushiyama, Yukihiko. Influence of muscular fatigue on skiing performance during parallel turns. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2011.(IVSL)
- Roger M. Enoka and Jacques Duchateau. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. J Physiol. (IVSL)
- S. Uzun, A. Pourmoghaddam, M. Hieronymus, T. A. Thrasher. Evaluation of muscle fatigue of wheelchair basketball players with spinal cord injury using recurrence quantification analysis of surface EMG. Eur J Appl Physiol (2012).(IVSL)
- Stephen Minning, Colin A. Eliot, Tim L. Uhl, Terry R. Malone. EMG analysis of shoulder muscle fatigue during resisted isometric shoulder elevation. Journal of Electromyography and Kinesiology 17 (2007).(IVSL)
- Talebian S, Fakhari Z, Mehrdad S. The changes of motor control strategy following fatigue in extensor muscles of knee. Tehran University Medical Journal; Vol.1, No. 4,2008.(IVSL)