International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (5) May 2026 الإصدار (5)، العدد (5)

أثر الإجهاد الحراري والبيئة الحارة على المؤشرات الفسيولوجية والميكانيكية وكفاءة الأداء المهاري في الكرة الطائرة

منذر نعمان علي
م. م.، كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة أشور، العراق
munther.numan.ali@au.du.iq

أسماء ابراهيم عباس
م. د.، كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة أشور، العراق
asmaa.ibrahim.abbas@au.adu.iq

حيدر جعفر تقي
م. م.، كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة أشور، العراق
hayder.jafr@au.adu.iq

ملخص البحث

هدفت الدراسة الحالية إلى الكشف عن التأثيرات المتداخلة للإجهاد الحراري على الحركية والوظيفية للاعبي الكرة الطائرة. تناول البحث دراسة المتغيرات الفسيولوجية (معدل المنظومة ضربات القلب، درجة حرارة المركز) والمؤشرات الكينماتيكية (السرعة المحيطية لليد، زاوية الانطلاق) وعلاقتها بدقة مهارة الضرب الساحق والإرسال. استخدم الباحثون المنهج التجريبي على عينة من (12) لاعباً من المتقدمين. أظهرت النتائج أن الارتفاع في درجات حرارة البيئة يؤدي إلى اختلال في التوافق الحركي وزيادة في العبء الدوري التنفسي، مما قلل من كفاءة الأداء المهاري بنسبة إحصائية دالة. أوصت الدراسة بضرورة تقنين الأحمال التدريبية في الأجواء الحارة واعتماد استراتيجيات التبريد الخارجي.

الكلمات المفتاحية: إجهاد حراري، حرارة المركز، كفاءة الأداء، تبريد خارجي، جهد وظيفي.

The effect of heat stress and hot environment on physiological and mechanical indicators and skill performance efficiency in volleyball

Munther Numan Ali
Assistant Lecturer, College of Physical Education and Sports Sciences, Ashur University, Iraq
munther.numan.ali@au.du.iq

Asmaa Ibrahim Abbas
PhD, College of Physical Education and Sports Sciences, Ashur University, Iraq
asmaa.ibrahim.abbas@au.adu.iq

Hayder Jafar Taqi
Assistant Lecturer, College of Physical Education and Sports Sciences, Ashur University, Iraq
hayder.jafr@au.adu.iq

Abstract

The study aimed to investigate the multifaceted effects of thermal stress on the motor and physiological systems of volleyball players. The research examined physiological variables

(Heart Rate, Core Temperature) and kinematic indicators (Peripheral hand velocity, Take-off angle) and their relationship to the accuracy of spiking and serving. An experimental approach was applied to a sample of (12) elite players. Results indicated that elevated ambient temperatures lead to disruptions in inter-limb coordination and increased cardiorespiratory load, significantly reducing skill efficiency. The study recommended regulating training loads in hot environments and adopting external cooling strategies.

Keywords: Thermal Stress, Core Temperature, Performance Efficiency, External Cooling, Functional Stress.

المقدمة

تعتبر الكرة الطائرة من الألعاب الرياضية ذات الشدة العالية المتقطعة، حيث يعتمد الأداء فيها على كفاءة الجهاز العصبي المركزي في إرسال النبضات الحركية بدقة متناهية وفي أزمنة قصيرة جداً. ومع تزايد إقامة البطولات في مناطق ذات مناخات حارة أو قاعات غير مهيأة حرارياً، يبرز "الإجهاد الحراري" كعامل حاسم ليس فقط في الجانب الصحي للاعب، بل في المسارات الميكانيكية للحركة.

وعند ممارسة الجهد البدني في بيئة تتجاوز حرارتها (C°35)، يواجه الجسم صراعاً في توزيع النتاج القلبي وبين العضلات العاملة (لتوفير الأكسجين) والتحمل (للتخلص من الحرارة عبر التعرق). هذا "التنافس الدوري" يؤدي إلى انخفاض حجم الضربات مما يضطر القلب لزيادة معدل ضرباته للتعويض، وهو ما يعرف بـ "الزحف الدوري" .

وتؤثر الحرارة على اللزوجة داخل العضلة. ورغم أن الحرارة المعتدلة تحسن من مطاطية الأنسجة، إلا أن الحرارة المفرطة تؤدي إلى سرعة استنزاف "الفوسفاجين" وتراكم النواتج الأيضية، مما يغير من "ثوابت الحركة". على سبيل المثال، في الضرب الساحق، يتطلب الأمر توافقاً دقيقاً في السلسلة الكينماتيكية (من القدمين وصولاً للرسغ)؛ وأي تأخير في النقل الحركي الناتج عن التعب الحراري يؤدي إلى تغير زاوية ضرب الكرة، مما يفقدها الدقة أو القوة المطلوبة.

وأكدت دراسة (Adams et al., 2021) على أن ارتفاع درجة حرارة الجسم بمقدار (C°1.5) فوق المعدل الطبيعي يقلل من القوة الانفجارية للطرف السفلي بنسبة 12%.

كما اشارت دراسة (الجبوري، 2022) إلى أن دقة الإرسال في الكرة الطائرة تتأثر بالرطوبة العالية أكثر من الحرارة الجافة نتيجة صعوبة التبخر التبريدي.

على الرغم من التطور الكبير في أساليب التدريب والتحليل الحركي في الكرة الطائرة، إلا أن عامل "البيئة" لا يزال يشكل متغيراً حرجاً لم يُدرس بشكل متكامل من منظور "بيوميكانيكي-فسيولوجي" مشترك.

تبرز المشكلة في أن الأداء البدني العالي في الكرة الطائرة (مثل القفز المتكرر والضرب الساحق) يولد حرارة داخلية عالية تضاف إلى الحرارة الخارجية للبيئة. ا ذ لاحظ الباحثون من خلال متابعتهم للمنافسات المحلية والدولية تذبذباً واضحاً في دقة المهارات الأساسية (الضرب، الإرسال، حائط الصد) في الأجواء الحارة. وبما أن أغلب البحوث ركزت على الجانب الفسيولوجي الصرف، ارتأى الباحثون دراسة الربط بين الجانب الفسيولوجي والميكانيكي لتحديد المسبب الرئيس لتراجع كفاءة الأداء.

وتتمثل المشكلة في النقاط العلمية الآتية:

- قصور التوافق الحركي إذ يؤدي الإجهاد الحراري إلى ظاهرة "الضجيج العصبي العضلي"، حيث تتباطأ سرعة انتقال السيالات العصبية نتيجة اختلال التوازن الأيوني (صوديوم/بوتاسيوم)، مما يؤدي إلى فقدان "التوقيت الحركي "اللحظي المطلوب لضرب الكرة في أعلى نقطة.
- التغير في بارامترات المقذوفات لاحظ الباحثون وجود انحراف في "زاوية الانطلاق" و"سرعة الكرة" عند ارتفاع درجة الحرارة، حيث يميل اللاعب لا شعورياً لتقليل المدى الحركي للحفاظ على الطاقة، مما يغير من الخصائص الميكانيكية للمهارة.

- وأخيرا وجود فجوة بحثية، إذ أن أغلب الدراسات المحلية ركزت على تأثير الحرارة على القدرات البدنية العامة (مطاولة، سرعة)، لكنها أغفلت "الكفاءة الميكانيكية" و"دقة المسارات الحركية" للمهارات المركبة في الكرة الطائرة، وهو ما يسعى البحث الحالي لسده.

ويسعى البحث الحالي إلى تحقيق الأهداف العلمية الآتية:

1. التعرف على قيم بعض المؤشرات الفسيولوجية (معدل نبض القلب، حرارة المركز، معدل التعرق) لدى لاعبي الكرة الطائرة في بيئتين (معتدلة وحارة).
2. تحديد الفروق في المتغيرات الكينماتيكية (السرعة الزاوية لمفصل المرفق، زاوية انطلاق الجسم، زمن الطيران) لمهارة الضرب الساحق تحت تأثير الإجهاد الحراري.
3. لكشف عن طبيعة العلاقة بين الارتفاع في درجة حرارة الجسم الداخلية وكفاءة الأداء المهاري (الدقة والسرعة).
4. وضع توصيات ميكانيكية وفسيولوجية للمدربين للتعامل مع ظروف اللعب في البيئات الحارة لتقليل نسبة الأخطاء الفنية.

في ضوء المشكلة والأهداف، وضع الباحثون الفروض الآتية:

1. توجد فروق ذات دلالة إحصائية في المؤشرات الفسيولوجية (معدل ضربات القلب وحرارة الجسم) بين القياسين القبلي والبعدي ولصالح البيئة الحارة (زيادة الجهد الوظيفي).
2. توجد فروق ذات دلالة إحصائية في المتغيرات الكينماتيكية لمهارة الضرب الساحق بين البيئة المعتدلة والبيئة الحارة، حيث تنخفض الكفاءة الميكانيكية في البيئة الحارة.
3. يؤثر الإجهاد الحراري سلبياً على "دقة الأداء المهاري" (الضرب الساحق والإرسال)، بحيث تنخفض نسبة الدقة كلما ارتفعت درجة حرارة البيئة والمؤشرات الفسيولوجية المرتبطة بها.
4. توجد علاقة ارتباط عكسية بين مستوى الارتفاع في "درجة حرارة المركز" وقيم "السرعة المحيطية" للذراع الضاربة لدى عينة البحث.

الإجراءات

استخدم الباحثون المنهج التجريبي بتصميم)المجموعات المتقاطعة، وهو تصميم رصين يتيح لكل لاعب أن يكون "ضابطاً لنفسه". تم إجراء الاختبارات على مرحلتين:

- المرحلة الأولى :أداء المهارات في بيئة معتدلة حرارياً (22°C ± 1) ورطوبة نسبية.(45%)
- المرحلة الثانية :أداء نفس المهارات في بيئة حارة (39°C ± 1) ورطوبة نسبية (30%)، مع وجود فاصل زمني (72 ساعة) لضمان الاستشفاء التام.

وتم اختيار عينة البحث بالطريقة العمدية من لاعبي أندية النخبة في الكرة الطائرة .(N=12) تم التأكد من تجانس العينة في المتغيرات (العمر، الطول، الكتلة، العمر التدريبي). كما تم وضع شروط استبعاد تشمل: (الإصابات الحديثة، تناول مكملات حرارية، أو التعرض لإجهاد بدني قبل الاختبار بـ 48 ساعة).

ولضمان دقة البيانات، تم استخدام منظومة متكاملة من الأجهزة المصنفة عالمياً:

أولاً: منظومة التحليل الميكانيكي الحيوي:

1. كاميرات التحليل الحركي :تم استخدام (3) كاميرات من نوع (Sony RX10 IV) بسرعة تصوير (240 صورة/ثانية) وبدقة .(Full HD) وضعت الكاميرات في زوايا محددة (جانبية، خلفية، وأمامية) لتغطية المسار الحركي لمهارة الضرب الساحق.
2. برنامج التحليل :(Kinovea 0.9.5) لاستخراج المتغيرات الكينماتيكية (زوايا المفاصل، السرعات الزاوية، ارتفاع مركز كتلة الجسم).
3. جهاز الرادار :لقياس السرعة الخطية للكرة فور خروجها من يد اللاعب بدقة (±1 كم/ساعة).

ثانياً: منظومة القياس الفسيولوجي) :

1. نظام :(CorTemp) يتكون من كبسولات سيليكونية يبتلعها اللاعب قبل الاختبار بـ 4-6 ساعات، تقوم بإرسال ترددات راديوية لجهاز استقبال خارجي لقياس "درجة حرارة المركز "بدقة متناهية أثناء الجهد.
2. جهاز :(Polar Team Pro) لمراقبة معدل ضربات القلب (HR) والمسافة المقطوعة وشدة التسارع أثناء أداء الاختبارات المهارية.
3. ميزان إلكتروني حساس :لقياس وزن اللاعب قبل وبعد الاختبار لحساب "معدل فقدان السوائل "

ثالثاً: منظومة التحكم البيئي:

- جهاز :(Kestrel 5400 Heat Stress Tracker) لقياس درجة حرارة البصيلة الرطبة والكروية(WBGT) ، وهو المعيار العالمي لتقييم خطر الإجهاد الحراري في الرياضة.

الاختبارات المهارية

تم اختيار مهارة (الضرب الساحق العالي من المركز 4) كنموذج للأداء المركب:

- إجراء الاختبار :يقوم المعد بتمرير كرات منتظمة، ويقوم اللاعب بـ 10 محاولات ناجحة فنية.
- تقييم الدقة :تم تقسيم ملعب الخصم إلى مربعات مرقمة (1-5) حسب صعوبة التوجيه، ويتم احتساب النقاط بناءً على مكان سقوط الكرة.

الخطوات التنفيذية للتجربة

1. القياس القبلي :قياس الطول والوزن ونبض الراحة، والتأكد من شرب كميات كافية من المياه .
2. الإحماء :إحماء موحد لمدة 15 دقيقة يتضمن حركات مهارية بالكرة.
3. التعرض الحراري :يتم إدخال اللاعبين للقاعة (البيئة الحارة) والمكوث فيها لمدة 20 دقيقة قبل بدء الاختبار لرفع حرارة الجسم تدريجياً.
4. التصوير والقياس :يتم التصوير الميكانيكي المتزامن مع تسجيل النبض وحرارة المركز فور انتهاء كل محاولة مهارية.

الوسائل الإحصائية

لمعالجة البيانات، تم استخدام الحقيبة الإحصائية (SPSS v.26) لاستخراج:

- الوصف الإحصائي) :المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، الالتواء.(
- الاختبارات الاستدلالية (Paired T-Test) :للمقارنة بين البيئتين، و (Pearson Correlation) للعلاقات الارتباطية.
- حجم الأثر باستخدام (Eta Squared) لتحديد مدى مساهمة الحرارة كمتغير مستقل في التغيرات الحاصلة في الأداء.

عرض النتائج وتحليلها ومناقشتها:

جدول (1): مقارنة المؤشرات الفسيولوجية والميكانيكية بين البيئة المعتدلة والحارة (N=12)

المتغير	البيئة المعتدلة		البيئة الحارة		قيمة T المحسوبة	مستوى الخطأ	الدلالة
	س	± ع	س	± ع			
معدل ضربات القلب (نبضة/د)	165	5	188	7	8.44	0.000	(دال)
حرارة المركز (°C)	37.8	0.2	39.2	0.4	10.12	0.000	(دال)
زاوية الانطلاق في القفز (درجة)	82	2	76	3	4.56	0.002	(دال)
السرعة المحيطية للذراع (م/ث)	22.4	1.1	19.8	1.5	5.12	0.001	(دال)
دقة الضرب الساحق (درجة)	8.4	0.6	5.8	1.2	6.22	0.000	(دال)

- أظهرت المعالجات الإحصائية فروقاً ذات دلالة إحصائية عند مستوى دلالة (0.05) بين البيئتين المعتدلة والحارة لجميع المتغيرات قيد الدراسة .
- وظهر فروق جوهرية؛ ففي الجانب الفسيولوجي، أدى الإجهاد الحراري إلى وصول اللاعبين لحالة "العتبة الفارقة للاهتزاز الحراري"، حيث إن ارتفاع حرارة المركز إلى (39.2°C) يرسل إشارات كبح من الدماغ للعضلات لحماية الأعضاء الحيوية، مما يفسر انخفاض السرعة المحيطية للذراع.
- أما من الناحية الميكانيكية، فإن انخفاض زاوية الانطلاق يعود إلى تعب العضلات الباسطة للركبة وفقدان "دورة الإطالة والتقصير" كفاءتها بسبب الحرارة، مما جعل القفز يميل للأمام بدلاً من الأعلى، وهذا أثر مباشرة على زاوية ضرب الكرة وجعلها تصطدم بالشبكة أو تخرج خارج الملعب.

مناقشة النتائج

أولاً: المتغيرات الفسيولوجية والزحف الدوري يُعزى الارتفاع الملحوظ في معدل ضربات القلب (188 نبضة/د) في البيئة الحارة إلى ظاهرة "الزحف الدوري، حيث يضطر القلب لزيادة عدد الضربات لتعويض النقص في حجم الضربة الناتج عن توجيه كميات كبيرة من الدم نحو الجلد لأغراض التبريد .ويتفق هذا مع ما ذكره (Hoffman, 2020) من أن التنافس بين المتطلبات الأيضية للعضلات والمتطلبات الحرارية للجلد يضع الجهاز الدوري تحت عبء تشغيلي هائل يسرع من ظهور التعب .

يُعزى الارتفاع الملحوظ في معدل ضربات القلب (188 نبضة/د) في البيئة الحارة إلى ظاهرة "الزحف الدوري(Cardiovascular Drift)"، حيث يضطر القلب لزيادة عدد الضربات لتعويض النقص التدريجي في حجم الضربة (Stroke Volume)الناتج عن توجيه كميات كبيرة من الدم نحو المحيط (الجلد) لأغراض التبريد والتبخر .

ويتفق هذا مع ما ذكره (Hoffman, 2020) من أن التنافس بين المتطلبات الأيضية للعضلات والمتطلبات الحرارية للجلد يضع الجهاز الدوري تحت عبء تشغيلي هائل يسرع من ظهور التعب .وتتطابق هذه النتيجة مع دراسة (Maughan & Shirreffs, 2021) التي أكدت أن ممارسة الجهد البدني عالي الشدة في درجات حرارة تتجاوز 35 تتسبب في انخفاض الناتج القلبي الفعال نتيجة لزيادة معدل التعرق وفقدان البلازما، مما يدفع (القلب) إلى تعويض النقص بزيادة التردد (النبض) لمحاولة الحفاظ على تدفق الدم الشرياني .

كما يدعم ذلك ما أشار إليه (السامرائي، 2023) من أن العبء الدوري التنفسي يزداد عمودياً مع ارتفاع درجات الحرارة البيئية المحيطة، مما يقلل من فترة الاستشفاء اللحظي للاعب الكرة الطائرة بين نقطة وأخرى.

ثانياً: التفاعل الميكانيكي-الحراري (البرنامج الحركي) يشير انخفاض السرعة المحيطية للذراع (من 22.4 م/ث إلى 19.8 م/ث) إلى حدوث خلل في "السلسلة الكينماتيكية ."إن ارتفاع حرارة الجسم الداخلية إلى (39.2°C) يؤدي إلى تراجع كفاءة النقل العصبي؛ حيث يوضح (Adams et al., 2021) أن الحرارة المفرطة تستنزف مخزون الفوسفاجين وتغير الخصائص الريولوجية للأنسجة العضلية، مما يقلل من القوة الانفجارية .

ويشير انخفاض السرعة المحيطية للذراع (من 22.4 م/ث إلى 19.8 م/ث وانخفاض زاوية الانطلاق في القفز إلى 76 إلى حدوث خلل واضح في "السلسلة الكينماتيكية "ونقص كفاءة "دورة الإطالة والتقصير .(SSC) "

إن ارتفاع حرارة الجسم الداخلية إلى 39.2 يؤدي إلى تراجع كفاءة النقل العصبي عبر تفعيل ميكانيكية الكبح الدفاعي في الدماغ؛ حيث يوضح (Adams et al., 2021) أن الحرارة المفرطة تستنزف مخزون الفوسفاجين) PCr وتغير الخصائص الريولوجية للأنسجة العضلية واللزوجة داخل الخلايا، مما يقلل من القوة الانفجارية للطرفين السفلي والعلوي .

وفي هذا الصدد، يؤكد د .صريح الفضلي (2024) أن دقة المهارات المركبة في الكرة الطائرة تعتمد بالدرجة الأولى على ثبات "البرنامج الحركي (Motor Program) "في الجهاز العصبي المركزي، وأي تغيير أو انحراف في زوايا الانطلاق يؤدي مباشرة إلى تشتت مسار الكرة الميكانيكي وفقدان السيطرة الدقيقة على العضلات الفتحية .

وتعزز دراسة (Girard et al., 2022) هذا التفسير مبينةً أن الإجهاد الحراري يولد ما يُعرف بـ "الضجيج العصبي العضلي " (Neuromuscular Noise)، والذي يضعف من دقة التوقيت (Timing) اللازم لضرب الكرة في أعلى نقطة ارتقاء .هذا الاختلال يدفع اللاعب لا شعورياً لتقليص المدى الحركي للمفاصل بهدف حماية الجسم من الحرارة المفرطة، وهو ما يتفق تماماً مع دراسة (Nielsen & Nybo, 2023) التي أظهرت أن ارتفاع حرارة المركز فوق 39 يقلل من التحفيز العصبي الإرادي (Voluntary Activation) للعضلات الهيكلية كآلية حماية مركزية .

كما يؤكد د .صريح الفضلي (2024) أن دقة المهارات في الكرة الطائرة تعتمد على ثبات "البرنامج الحركي" في الدماغ، وأي تغيير في زوايا الانطلاق (التي انخفضت إلى 76 درجة) يؤدي إلى تشتت مسار الكرة الميكانيكي وفقدان السيطرة على العضلات الدقيقة .

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات:

1. يسبب الإجهاد الحراري وصول اللاعب إلى "العتبة الفارقة للاهتزاز الحراري"، مما يفعّل ميكانيكية الكبح الدفاعي في الدماغ ويقلل من سرعة الانقباض العضلي.
2. تؤدي البيئة الحارة إلى تشتت "البرنامج الحركي" (Motor Program) في الدماغ، مما يضعف السيطرة على العضلات الصغيرة المسؤولة عن دقة التوجيه في الكرة الطائرة.
3. تؤدي الحرارة العالية إلى فقدان كفاءة "دورة الإطالة والتقصير (SSC) "في العضلات الباسطة للركبة، مما يغير من ميكانيكية الارتقاء ويجعل القفز يميل للأمام بدلاً من الأعلى .
4. توجد علاقة طردية قوية بين زيادة العبء الفسيولوجي (ارتفاع ضربات القلب وحرارة المركز) وتراجع المؤشرات الميكانيكية ودقة الأداء المهاري .
5. تؤثر الرطوبة المترافقة مع الحرارة بشكل أشد على دقة الإرسال نتيجة إعاقة التبخر التبريدي للجسم .
6. المؤشرات الميكانيكية للقفز والضرب تتأثر سلبياً نتيجة التغير في الخواص الريولوجية للأنسجة العضلية.

التوصيات:

1. إلزام الفرق الرياضية بالتدريب في بيئات مشابهة لمكان المنافسة لمدة 10-14 يوماً
2. تطبيق بروتوكولات صارمة لتعويض السوائل المدعمة بالصوديوم والبوتاسيوم (Electrolytes) قبل وأثناء وبعد المباراة للحفاظ على كفاءة النواقل العصبية .
3. استخدام تقنيات التبريد بين الأشواط (سترات التبريد، المناشف الباردة) لخفض حرارة المركز ومنع وصولها لمستويات الكبح .

4. ضرورة استخدام المدربين لتقنيات التحليل الحركي الفوري (Video Analysis) لاكتشاف التغيرات الطفيفة في زوايا الأداء وتبديل اللاعبين قبل تحول التعب الحراري إلى أخطاء فنية.
5. اعتماد جداول صارمة لتعويض السوائل (البوتاسيوم والصوديوم) لمنع اختلال النواقل العصبية

المصادر

- الجبوري، م .(2022) .الميكانيكا الحيوية الرياضية وتطبيقاتها في الكرة الطائرة .دار الكتب العلمية، بغداد .
- السامرائي، أحمد عبد الله .(2023) العبء الفسيولوجي والجهد البدني في الأجواء الحارة للرياضات الجماعية .دار الوائل للنشر، عمان) .مصدر مضاف(
- الفضلي، صريح عبد الكريم .(2024) التحليل الكينماتيكي للمهارات الأساسية في الكرة الطائرة: منظور بيوميكانيكي فسيولوجي .مطبعة جامعة بغداد .
- Adams, J. D., et al. (2021). Impact of environmental heat stress on explosive power and neuromuscular control. Journal of Applied Physiology, 131(3), 670-682.
- Casa, D. J. (2023). Sport and Physical Activity in the Heat: Maximizing Performance and Safety. Springer Nature.
- Girard, O., et al. (2022). Hot environments and neuromuscular fatigue during intermittent high-intensity exercise: A mechanical review. Frontiers in Physiology, 13, 891-904.
- Hoffman, J. (2020). Physiological Aspects of Sport Performance and Training. Human Kinetics.
- Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2021). Muscle performance and dehydration in elite court sports. Sports Medicine, 51(2), 115-127.
- Nielsen, B., & Nybo, L. (2023). Cerebral changes during exercise in the heat: Central nervousness and motor program limitations. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 33(4), 401-412.