

Enhancing Thermal Exchange in Humans and Practical Applications

H. Craig Heller and Dennis A. Grahn

Abstract

Normal human core body temperature is regulated within a narrow range. Deviations from this range can have serious consequences in both health and disease. However, it is difficult to efficiently manipulate body heat content because of the high heat capacity of the body and the low thermal conductance of the body surface. Mammals have evolved vascular adaptations of the nonhairy skin to enable enhanced heat loss. These include arteriovenous anastomoses that bypass the nutritive capillary beds to shunt the blood into retia venosa which serve as radiators. We have quantified the area-specific heat loss from glabrous skin (palms and face) and nonglabrous skin (upper arm, back, thigh, and abdomen). Results show that the heat loss from the nonglabrous skin does not change appreciably over the course of exercise in the heat, whereas the heat loss from the glabrous skin rises to values more than five times that of the nonglabrous skin. The application of a mild vacuum increases the heat loss from the glabrous skin by an additional 33%. The effect of cooling of these different skin areas on the heart-rate response to a fixed exercise load was significantly greater for the glabrous than the nonglabrous skin. The intermittent application of vacuum cooling to the palms of individuals exercising in a hot environment had the effects of lowering the rate of rise of core temperature and enhancing performance. The vacuum-enhanced heat exchange via the glabrous skin is a disruptive technology for several reasons. It forces re-formulation of the models of human thermoregulation that are used to design thermal protective gear. It offers an effective means of treating heat and cold stress. It provides an insight into controversies about the effects of temperature on human athletic performance, and offers a means of enhancing strength and work volume training responses that are more effective than performance-enhancing supplements such as anabolic steroids. There are many potential applications of vacuum-enhanced cooling of the glabrous skin in medicine, occupational health and safety, and sport.

Key words: glabrous skin; mammalian temperature regulation; performance enhancement; regional heat transfer

【抄録和訳】

人体における熱交換強化法およびその応用

抄録

人間の正常な深部体温は狭い範囲内に調整されている。この範囲からの逸脱は深刻な体調不良や疾患状態を引き起こしうる。しかしながら人体の熱容量（キャパシティ）が高いことと人体表面の熱伝導性が低いことから効率的に体温を操作することは難しい。哺乳類は皮膚の無毛部の血管において体温の低下を促進させるための適応が進化している。すなわちラジエーターとして機能する静脈網をシャントするため栄養性毛細血管床をバイパスする動静脈吻合が発達しているのである。わたしたちは無毛部の皮膚（手掌と顔面）と非無毛部皮膚（上腕、背部、大腿、下腹部）の面積特異的な体温喪失を定量化した。その結果、非無毛部皮膚からの体温喪失は高温状態での運動ではあまり変化しなかったが、無毛部の皮膚からの体温喪失は無毛部皮膚の体温喪失に比して5倍以上であった。軽度の真空を加えることにより無毛部皮膚からの熱喪失を33%増すことができた。これらの異なる皮膚部位を冷却することによるある決められた運動負荷に対する心拍の反応は非無毛部よりも無毛部の冷却のほうが効果が有意に高かった。高温環境において運動をする人の手掌に真空での冷却処理を間欠的に行い深部体温の上昇率を抑え、パフォーマンスを増強することで効果が得られた。無毛部皮膚への真空強化された熱交換はいくつかの理由で「破壊的」である。この技術は人体を熱から保護するためのウェアや装具の設けに用いられてきた人体の熱調整モデルを再構成することとなる。この技術により熱処理と冷却ストレス処理がより有効に行われるのである。競技スポーツへの温度効果に関する議論に一石投じることとなり、筋肉増強ステロイドなどのパフォーマンス強化のためのサプリメントよりも一層効果のある（筋力）強化と運動量トレーニング反応の強化を行うための手法となるであろう。無毛皮膚部への真空強化冷却法は、医療、産業保健と労働安全、そしてスポーツなど潜在的に多くの分野での応用が考えられる。