

インソールの材質の違いが ランニングに伴う溶血に及ぼす影響

名古屋工業大学大学院 伊藤 宏
(共同研究者) 同 山崎 良比古
中部大学 下田 次雄
名古屋大学 島岡 清

Influence of Insole Material on Hemolysis During Running

by

Hiroshi Itoh, Yoshihiko Yamazaki

Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

Tsugio Shimoda

Chubu University

Kiyoshi Shimaoka

Research Center of Health,

Physical Fitness and Sports, Nagoya University

ABSTRACT

There is a wide body of literature reporting red blood cells (RBC) hemolysis as occurring after various forms of exercise. Whereas the trauma associated with footstrike is thought to be the major cause of hemolysis after running, the influence of insole materials on hemolysis during running has not been thoroughly addressed. The purpose of this study was to investigate the influence of insole cushioning on hematological responses during running. Eight male students completed a 10-km run on a paved road (75-85% heart rate max) wearing either normal (N) or soft (S) insole in the same running shoes in random order one month apart. Running time and total steps during the 10-km run were recorded, while RBC, hematocrit, hemoglobin, haptoglobin, lactate concentrations, and creatine kinase (CK) activities were measured immediately before (pre), immediately after (post), and 1 and

24 hrs after the 10-km run. There were no significant differences in running time, total steps during the 10-km run, and in blood lactate concentrations before and after the 10-km run between N and S insole trials. Plasma haptoglobin concentrations tended to decrease 1 hr after the 10-km run and to go back to the pre values in both trials. Although a significant ($p<0.05$) decrease was found in N trials 1 hr after the 10-km run compared to the pre values, no significant change was found in S trials. RBC, hemoglobin concentrations, and hematocrit increased immediately after the 10-km run, and fell progressively less than the pre values. In N trials, a significant ($p<0.05$) decrease was observed 24 hrs after the 10-km run compared to the pre values in either hemoglobin concentrations or hematocrit, but did not change significantly in S trials. In all of these hematological parameters no significant difference was observed between N and S insole trials. The 10-km run in this study, irrespective of insole type, showed a significant increase ($p<0.001$) in CK activities 24 hrs after the run compared to the pre values, with no significant differences between different types of insole.

These results suggest that, whereas general circulatory trauma to RBC associated with running may result in some exercise-induced hemolysis, insole cushioning reduces mechanical trauma associated with footstrike and attenuates hemolysis during running.

要 旨

ランニングシューズのインソールの材質の違いが、ランニングに伴う運動性溶血に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。男子大学生8名を対象に、ランダムにそれぞれ通常のインソール(N)と衝撃吸収用素材を用いたインソール(S)の条件で舗装道路における10km走(最大心拍数の75-85%)を一ヶ月の間隔を空けて実施した。10km走に費やした時間、歩数を記録し、10km走前安静、直後、1および24時間後に採血を行い、赤血球数、ヘマトクリット、ヘモグロビン、ハプトグロビン、乳酸濃度およびクレアチンキナーゼ活性を測定した。10km走における運動持続時間、総歩数および10km走前後の血中乳酸濃度はいずれの項目とも両トライアル間に有意な差は認められなかった。

血中ハプトグロビン濃度は両トライアルとも

10km走終了1時間後に安静に対して低下する傾向があり、Nトライアルでは安静の値に対して有意($p<0.05$)に低かったが、Sトライアルでは有意な変化は認められなかった。赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリットについては同様の変化を示し、両トライアルとも10km走直後に増加し24時間後には低下する傾向が認められた。Nトライアルのヘモグロビン濃度、ヘマトクリットは安静時の値に対して有意($p<0.05$)に低下したが、Sトライアルでは有意な変化は認められなかった。また、これらのいずれの項目についても両トライアル間に有意な差は認められなかった。クレアチンキナーゼ活性は、両トライアルとも10km走24時間後で有意($p<0.001$)に増加し、NトライアルがSトライアルに比べて10km走24時間後に高くなったが両トライアル間で有意な差は認められなかった。

ランニングに伴う運動性溶血にはさまざまな要

因が関与すると考えられるが、本研究の結果、インソールの衝撃緩衝作用が着地時の機械的衝撃を和らげ、ランニング時における溶血を軽減させることが示唆された。一方、骨格筋損傷に対しては有意な効果は、認められなかった。

緒言

運動後に発現する溶血については、古くから知られている¹¹⁾。その原因として機械的衝撃による赤血球破壊^{16, 18, 22)}、体温の上昇²⁰⁾、代謝の活性化に伴う酸化ストレスの増大²¹⁾等、さまざまな要因が関与している。とくにランニングにおいては、着地時に体重の1.3-1.6倍の力が加わる¹⁾ため、foot strike hemolysisと言われるように、着地の際、繰り返し足底を地面に打ちつけることが足底血管内での赤血球破壊を誘発してランニング時の溶血を引き起こすと考えられている^{16, 18, 22)}。一方、パフォーマンスの向上や障害防止を目的としたランニングシューズの進歩に伴い、ランニングシューズ自体やインソールの形状、材質などについてもさまざまな工夫が施されている。これまでも力学的な視点から、ランニングシューズのアウトソールの硬さとランニング時の機械的衝撃との関係が検討され、硬いソールの方が柔らかいソールに比べて機械的衝撃が大きくなる^{3, 4, 7, 15)}ことが確かめられている。このようなことから着地時の機械的衝撃を緩和すれば、ランニング時の溶血を軽減できるものと考えられ、ランニングシューズ自体のアウトソールの硬さ^{7, 8)}、空気入りソール⁹⁾、硬度の異なるインソール¹³⁾を用いてランニングに伴う溶血への影響が検討されてきた。しかし、これらの先行研究では機械的衝撃緩衝作用がランニングに伴う運動性溶血の軽減に効果があった^{7, 9)}、あるいは効果は認められなかった^{8, 13)}と一致していない。また、最近では多種多様の衝撃吸収用素材を使用したインソールが市販されているが、衝撃吸収用素材を使用したインソールが

ランニングに伴う溶血に及ぼす影響についての報告は見あたらない。本研究では、通常のウレタン製インソール(N)と衝撃吸収用素材を用いたインソール(S)の条件でランダムに舗装道路における10km走(最大心拍数の75-85%)を行い、衝撃吸収用素材を使用したインソールがランニングに伴う溶血に及ぼす影響を血中の溶血指標から明らかにすることを目的とした。また同時に、インソールの素材の違いが血中の骨格筋損傷指標に及ぼす影響についても検討した。

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者は、健康状態が良好であると確認された男子大学生で、本研究の趣旨を十分に理解し了承を得た8名とした。被験者全員が特別な運動習慣はなく、研究期間内も実験以外の運動は制限した。被験者の年齢、身長、体重、体格指数(体重kg/身長 m^2)の平均値±標準偏差はそれぞれ21.8±2.1歳、172.4±5.6cm、67.7±8.8kg、22.8±2.8kg/ m^2 であった。

1.2 インソールと10km走

被験者は全員同じ規格のランニングシューズ(アシックス社製:TJG038)を履き、ランダムにそれぞれノーマル(N:付属のインソール)と衝撃吸収用素材を使用したソフト(S:三進興産社、ソルポスーパーライト)の異なるインソールをシューズの中に敷いて舗装された道路での10km走を実施した。各トライアルともハートレートモニター(POLAR社製、S610i)を見ながら最大心拍数の75-85%で走るように指示した。各トライアルにおける歩数は、デジタル歩数計(スズケン社製、ライフコーダー)で計測した。また、各トライアルの間隔は1ヶ月とした。

1. 3 採血および測定項目

被験者は、朝食後3時間以上経過した午前11時に集合し、イスに座って約20分間の安静を保った後、安静時の採血として正中皮下静脈から約7mlの採血を行った。運動後については10km走直後、1、24時間後に同様に採血を行った。最初に2mlを真空採血管（EDTA-2K）で採取し、赤血球、ヘモグロビン、ヘマトクリット（電気抵抗検出法）および乳酸濃度（京都第一科学、乳酸ラクトレート・プロLT-1710）を測定した。また、残りの5mlはヘパリン入り真空採血管に採取した後、遠心分離し、血漿中のハプトグロビン濃度（ネフェロメトリー）とクレアチンキナーゼ活性（UV法）を測定した。

1. 4 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示し、インソールの種類と運動後の時間経過の2要因について二元配置分散分析（two-way analysis of variance for repeated measurements）により検定を行い、有

意性が確認された要因についてFisherのPLSD検定による多重比較検定を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

2. 結果

表1に各トライアルにおける10km走の運動持続時間、総歩数および10km走前後の血中乳酸濃度を示した。いずれの項目ともインソールの異なる両トライアル間に有意な差は認められなかった。

溶血指標として、両トライアルにおける血中ハプトグロビン濃度、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリットの経時的变化を図1に示した。ハプトグロビン濃度は両トライアルとも10km走終

表1 ランニングにおける運動持続時間、歩数および血中乳酸濃度

	Normal	Soft
Running Time (min)	65.0 ± 10.0	68.8 ± 9.3
Running Steps (steps)	10634.9 ± 1403.5	11025.4 ± 1223.7
Blood Lactate (mmol/ℓ)	Pre	2.0 ± 0.3
	Post	5.8 ± 2.0

平均値±標準偏差

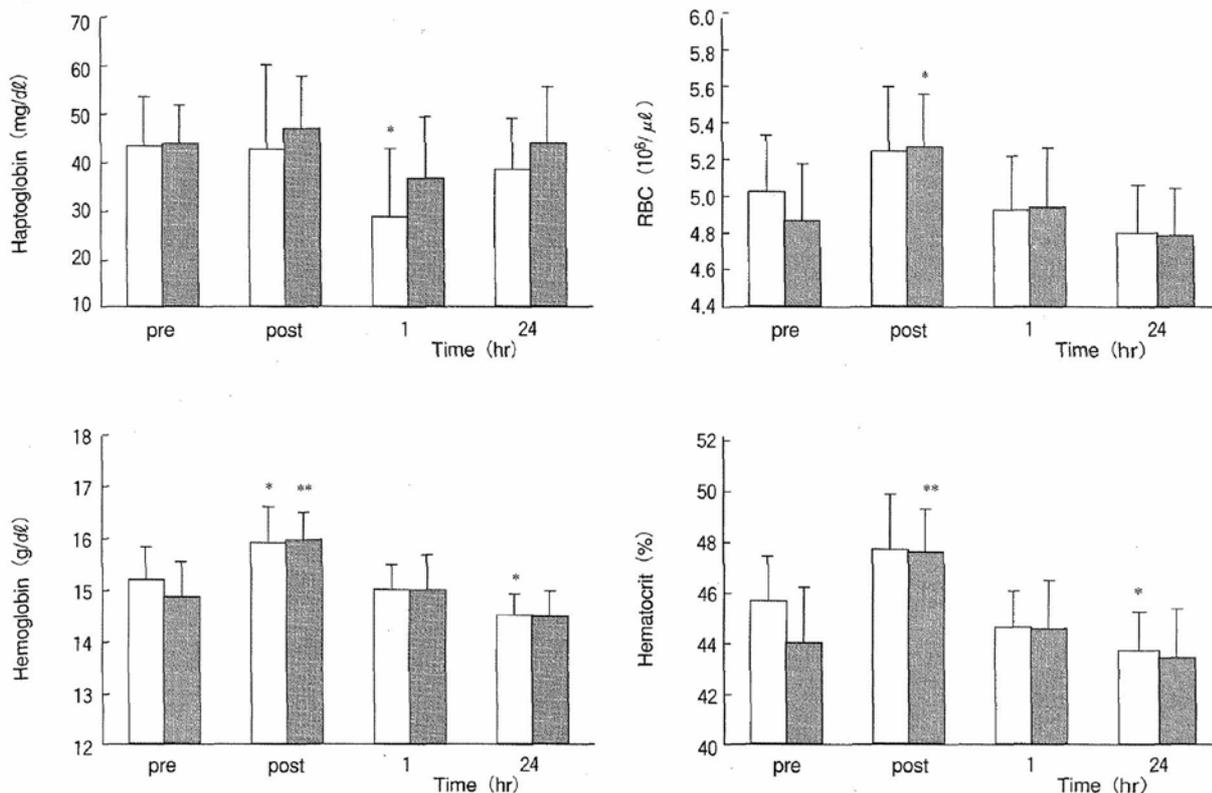


図1 10km走前後の溶血指標 (□: N, ■: S) 平均値±標準偏差*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$ vs Pre

了1時間後に安静に対して低下する傾向が認められ、Nトライアルでは安静の値に対して有意 ($p<0.05$) に低かった。一方、Sトライアルでは有意な変化は認められなかった。赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリットについては同様の変化を示し、両トライアルとも10km走直後に増加し24時間後には低下する傾向が認められた。Nトライアルのヘモグロビン濃度とヘマトクリットは安静時の値に対して有意 ($p<0.05$) に低かったが、Sトライアルでは有意な変化は認められなかった。しかし、これらのいずれの項目についても両トライアル間に有意な差は認められなかった。

両トライアルにおける血中クレアチンキナーゼ活性の経時的変化は図2に示した。両トライアルともクレアチンキナーゼ活性は、10km走24時間後で有意 ($p<0.001$) に増加した。また、10km走

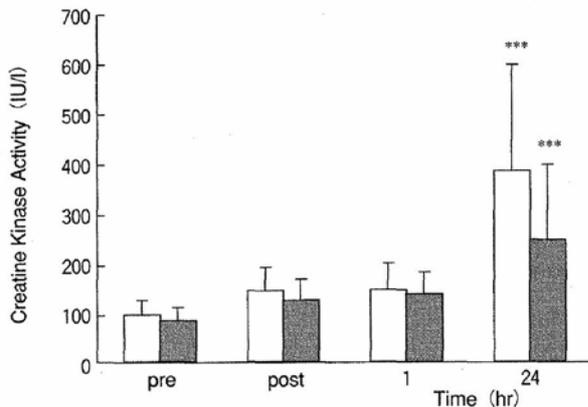


図2 10km走前後の血漿中クレアチンキナーゼ活性 (□: N, ■: S) 平均値±標準偏差 ***; $p<0.001$ vs Pre

24時間後にNトライアルがSトライアルに比べて大きい値が見られたが両トライアル間で有意な差は認められなかった。

3. 考察

ランニングシューズの性能のひとつとして、使用時のフィット感に代表される「快適性」は当然のことながら、使用後のコンディショニングを含めた「快適性」、すなわちランニング後の生理学的疲労やダメージを軽減することが求められる。本研究では、着地時の衝撃吸収用素材を用いたイ

ンソールがランニング時の生理的ダメージに及ぼす影響を、ランニングに伴う溶血および骨格筋損傷に関する血中の指標から検討した。ハプトグロビンは主に肝臓で産生されるヘモグロビン結合蛋白で、ヘモグロビンが血中に遊離されると迅速にきわめて強固に結合し、細網内皮系細胞のレセプターを介して速やかに取り込まれて分解処理される。この機構によって遊離型ヘモグロビンの毒性を中和するとともに腎糸球体からのヘモグロビン喪失を防止している。これらのことから血中ハプトグロビン濃度の低下は溶血の指標として考えられている^{16, 20)}。実際にマラソン⁵⁾ やトライアスロン¹⁰⁾、あるいは数日間に及ぶランニングによるトレーニング後⁶⁾には血中ハプトグロビン濃度は低下することが報告されている。Telford et al.²²⁾は、トライアスロン選手を対象にトレッドミルによるランニングと自転車エルゴメーターでの運動を同程度の運動強度、持続時間 (75% $\dot{V}O_{2max}$, 1時間) で別々に行わせ、ランニングでは血中ハプトグロビン濃度が有意に低下したが自転車では有意な変化が認められなかったことから、着地時の衝撃がランニングに伴う溶血の主要因であることを確かめている。また、Miller et al.¹⁶⁾は、陸上長距離選手を対象に同歩数 (10000歩) の登りと下りのトレッドミルによるランニング (約1時間) をランダムに行わせ、着地時の衝撃が大きい下りの方が登りに比べて有意に低い血中ハプトグロビン濃度が認められたことから、着地時の衝撃の大きさがランニングに伴う溶血に影響することを報告している。

本研究の血中ハプトグロビン濃度は、両トライアルとも10km走1時間後に安静に対して低下し、Nトライアルでは安静の値に対して有意 ($p<0.05$) に低かったが、Sトライアルでは有意な変化は認められなかった。両トライアル間では有意な差は認められなかったが、これらのハプトグロビン濃度の結果は、本研究の両トライアルにおける

10km 走が溶血を誘発し、その程度がNトライアルで大きかったことを示唆している。赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリットが10km走24時間後に両トライアルで低下し、Nトライアルのヘモグロビン濃度とヘマトクリットは安静時の値に対して有意 ($p < 0.05$) に低かったが、Sトライアルでは有意な変化は認められなかった。これら赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリットの結果はハプトグロビン濃度変化を裏付けるものである。本研究での10km走は運動強度が最大心拍数の75 - 85%，運動持続時間が約1時間、約10000歩であったことから運動条件はTelford et al.²²⁾ やMiller et al.¹⁶⁾ の運動条件と似ており、本研究での血中ハプトグロビン濃度の低下、すなわち溶血は、これらの先行研究と同様ランニング時の着地の際、繰り返し足底を地面に打ちつけることが足底血管内での赤血球破壊を誘発したことが主要要因であったと推察される。

着地時の機械的衝撃の緩衝作用とランニングに伴う溶血についての報告はランニングシューズのアウトソールに関するもの⁷⁻⁹⁾ が多く、インソールに関するもの¹³⁾ は少ない。本研究では、両トライアルでの運動持続時間や歩数に有意な差が認められなかったにもかかわらずNトライアルでランニングに伴う溶血が促進されたことは、Sトライアルで用いた衝撃吸収素材のインソールがランニング時の溶血を軽減したことを意味する。これらの結果は、15-mile走において硬いアウトソールのシューズを履いたランナーの方が柔らかいアウトソールのシューズを履いたランナーよりもランニングに伴う溶血が促進されたというFalsetti et al.⁹⁾ の報告を支持するものである。また、Dressendorfer et al.⁷⁾ は硬いアウトソールと柔らかいアウトソールのシューズでそれぞれ17日間、430kmのランニングトレーニングを実施し、硬いアウトソールのシューズによるトレーニング後は、柔らかいアウトソールによるトレーニング

後に比べて有意に網状赤血球数が増加したことから、硬いアウトソールではランニング時の溶血が促進されたと論じている。一方、12週間 (45 miles/週) のランニングトレーニング後の血中溶血指標にアウトソールの硬さの違いは影響せず、トレーニングの量的な増加がシューズのアウトソールに関係なく溶血を引き起こしたとする報告⁸⁾ もある。また、Hardin & Hamill¹³⁾ は、硬さの異なるインソールで30分間のトレッドミルによる下り走を実施したところ、インソールの硬さに関係なくランニングに伴う溶血や骨格筋損傷が認められたことを報告している。

運動に伴う酸素摂取量の増大は活性酸素種生成を促して生体内の酸化ストレスを増大させるため、赤血球膜の脂質過酸化を促進して赤血球の破壊や老化を高進する^{2, 21)}。ランニングの着地のような機械的衝撃が少ない水泳¹⁹⁾ やウェイトリフティング¹⁷⁾ でも運動性溶血が起こることから、機械的衝撃以外の運動性溶血の重要な要因のひとつとして酸化ストレスによる赤血球へのダメージが考えられる。本研究での10km走については両トライアル間で運動強度、持続時間に有意な差が認められず、ランニングに伴う酸化ストレスの程度は同程度であったと推察される。しかし、Dressendorfer et al.⁷⁾ やEichner⁸⁾ の報告した数日間、数週間にわたるランニングに伴う溶血については、活性酸素種による酸化ストレスの増大が赤血球の破壊と新生に複雑に関与している^{2, 21)} 可能性がある。また、ランニングに伴う運動性溶血は、対象となる被験者の運動経験やトレーニングの有無によっても反応が異なることも報告されている^{18, 20)}。本研究の被験者は非鍛錬者であったため、ランナーに比べて運動性溶血が起こりやすかったかもしれない。以上、上記で述べた先行研究と本研究の結果の違いは、インソールの衝撃緩衝作用以外にランニングの運動持続時間、走行距離、日数、ランニングの様式などさまざまな運動

条件の違いによるものかもしれない。

激しい運動による骨格筋の損傷が血中酵素逸脱を促すため、運動後の血中クレアチンキナーゼ活性は上昇する^{12, 14)}。本研究では、両トライアルともに10km走24時間後に血中クレアチンキナーゼ活性は有意に上昇した。また、Nトライアルの方がSトライアルに比べて高い値を示したが、両トライアル間で有意な差は認められなかった。これらの結果は、Hardin & Hamill¹³⁾の報告と一致し、本研究で使用したインソールの衝撃緩衝作用でも骨格筋損傷は顕著に誘発されたことを示唆するものである。

4. 結論

本研究では、衝撃吸収用素材を用いたインソールがランニング時の生理的ダメージに及ぼす影響を、ランニングに伴う溶血、骨格筋損傷に関する血中の指標から検討した。その結果、衝撃吸収用素材のインソールを使用することによってランニング時の機械的衝撃が緩和され、ランニングに伴う運動性溶血が軽減されることが明らかとなった。一方、骨格筋損傷も軽減する傾向は見られたが有意な効果は認められなかった。これらの結果は、競技選手のオーバートレーニングの防止をはじめとしたコンディショニング作りに対する貴重な提言となる。また、ランニングシューズを始め、さまざまなスポーツシューズの開発に対して基礎的な資料になると考えられる。しかし、ランニングに伴う溶血を軽減することが必ずしもパフォーマンスの向上に結びつくとは限らないため、インソールの素材とパフォーマンスとの関わりについては今後さらに検討していく必要がある。

謝辞

本稿を終えるにあたり、研究助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学財団に心から深謝いたします。また、本研究実施にあたり

多大なご協力をいただいた名古屋工業大学の桑哲男教授に厚くお礼申し上げます。

文献

- 1) Cavanagh, P. R. and Lafortune, M. A.: Ground reaction forces in distance running, *J. Biomech.*, 13, 397-406 (1980)
- 2) Clark, M. R.: Senescence of red blood cells: progress and problems, *Physiol Rev.*, 68, 503-554 (1988)
- 3) Clarke, T. E., Frederick, E. C. and Cooper, L. B.: Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running, *Int. J. Sports Med.*, 4, 247-251 (1983)
- 4) Clarke, T. E., Frederick, E. C. and Hamill, C. L.: The effects of shoe design parameters on rearfoot control in running, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15, 376-381 (1983)
- 5) Davidson, R. J., Robertson, J. D., Galea, G. and Maughan, R. J.: Hematological changes associated with marathon running, *Int. J. Sports Med.*, 8, 19-25 (1987)
- 6) Deitrick, R. W.: Intravascular haemolysis in the recreational runner, *Br. J. Sports Med.*, 25, 183-187 (1991)
- 7) Dressendorfer, R. H., Wade, C. E. and Frederick, E. C.: Effect of shoe cushioning on the development of reticulocytosis in distance runners, *Am. J. Sports Med.*, 20, 212-216 (1992)
- 8) Eichner, E. R.: Runner's macrocytosis: a clue to footstrike hemolysis. Runner's anemia as a benefit versus runner's hemolysis as a detriment, *Am. J. Med.*, 78, 321-325 (1985)
- 9) Falsetti, J. L., Burke, E. R., Feld, R. D., Frederick, E. C. and Ratering, C.: Hematological variations after endurance running with hard soled and air cushioned shoes, *Phys. Sports Med.*, 11, 118-127 (1983)
- 10) Gastmann, U., Dimeo, F., Huonker, M., Böker, J., Steinacker, J. M., Petersen, K. G., Wieland, H., Keul, J. and Lehmann, M.: Ultra-triathlon-related blood-chemical and endocrinological responses in nine athletes, *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 38, 18-23 (1998)
- 11) Gilligan, D. R., Altschule, M. D. and Katersky, E. M.: Physiological intra-vascular hemolysis of exercise: hemoglobinemia and hemoglobinuria following

- cross-country runs, *J. Clin. Lab. Invest.*, **22**, 859-869 (1943)
- 12) Goodman, C., Henry, G., Dawson, B., Gillam, I., Beilby, J., Ching, S., Fabian, V., Dasig, D., Kakulas, B. and Morling, P.: Biochemical and ultrastructural indices of muscle damage after a twenty-one kilometre run, *Aust. J. Sci. Med. Sport.*, **29**, 95-98 (1997)
- 13) Hardin, E. C. and Hamill, J.: The influence of midsole cushioning on mechanical and hematological responses during a prolonged downhill run, *Res. Q. Exerc. Sport.*, **73**, 125-133 (2002)
- 14) Itoh, H., Ohkuwa, T., Yamazaki, Y., Shimoda, T., Wakayama, A., Tamura, S., Yamamoto, T., Sato, Y. and Miyamura, M.: Vitamin E supplementation attenuate leakage of enzymes following 6 successive days of running training, *Int. J. Sports Med.*, **21**, 369-374 (2000)
- 15) Milani, T. L., Hennig, E. M. and Lafortune, M. A.: Perceptual and biomechanical variables for running in identical shoe constructions with varying midsole hardness, *Clin. Biomech.*, **12**, 294-300 (1997)
- 16) Miller, B. J., Pate, R. R. and Burgess, W.: Foot impact force and intravascular hemolysis during distance running, *Int. J. Sports Med.*, **9**, 56-60 (1988)
- 17) Schobersberger, W., Tschann, M., Hasibeder, W., Steidl, M., Herold, M., Nachbauer, W. and Koller, A.: Consequences of 6 weeks of strength training on red cell O₂ transport and iron status, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **60**, 163-168 (1990)
- 18) Schumacher, Y. O., Schmid, A., Grathwohl, D., Bütermann, D. and Berg, A.: Hematological indices and iron status in athletes of various sports and performances, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **34**, 869-875 (2002)
- 19) Selby, G. B. and Eichner, E. R.: Endurance swimming, intravascular hemolysis, anemia, and iron depletion. New perspective on athlete's anemia, *Am. J. Med.*, **81**, 791-794 (1986)
- 20) Shaskey, D. J. and Green, G. A.: Sports haematology, *Sports Med.*, **29**, 27-38 (2000)
- 21) Smith, J. A.: Exercise, training and red blood cell turnover, *Sports Med.*, **19**, 9-31 (1995)
- 22) Telford, R. D., Sly, G. J., Hahn, A. G., Cunningham, R. B., Bryant, C. and Smith, J. A.: Footstrike is the major cause of hemolysis during running, *J. Appl. Physiol.*, **94**, 38-42 (2003)