

運動による血液水分及びこれに関連する 血液性状の変動について

羽生 純 夫, 大 永 政 人

A Study on the Effect of Physical Exercise on Blood-water and the Attendant Changes in Blood Property

Sumio Habu, Masato Onaga

は じ め に

身体の運動に伴って循環機能の高まりがあることは、吾々が日常経験する事からであるが、これは運動にあずかる筋肉の活動に必要なエネルギーを産生・補給する必要から、及び筋肉の活動によって産生された筋組織中の代謝物質の排除の必要から起る一種の身体の適応作用であると¹⁾²⁾⁴⁾¹¹⁾考えられている。

筋収縮のためのエネルギー源即ちグリコゲンは筋肉が急にはげしい運動をなす場合、その活動のための最も利用率の高いエネルギー源として¹¹⁾筋肉中に蓄えられているが、これは筋肉がはげしく運動を続ける場合には遂次補充されなければならない。また無酸素下での筋収縮は可能であるが、これも限度があるので速かに血流の増加によって酸素が送られなければならない。また筋収縮によって産生される乳酸やピルビン酸及び炭酸ガス等の生体内化学反応により生じた物質は筋肉の活動を阻害するものであるから、これ等も血流に移されて速かに運び去られる必要がある。運動がはげしく且つ時間的に長く¹⁾²⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾継続されると、放出されたエネルギーは熱となって体温を上昇させる。このことも身体の活動にとっては悪条件の要因となるために、発汗によって調節されねばならない。

これ等の一連の化学反応の結果が内臓、神経中枢或いは発汗中枢に作用して、運動器官系への血流量の増加（血液動員）、心臓搏動及び呼吸の促進、全身の血管収縮又は拡張として現われ、これが血圧の亢進、⁵⁾⁶⁾脈搏数及び呼吸数の増加、或いは体温や皮ふ温の上昇、発汗等の現象として自覚的他覚的に循環機能の亢進状態が認められる。

このように運動による循環機能の亢進は、生体内に起こる化学反応の亢進の結果として考えられる。運動による身体の適応現象を循環器系の機能的変化として、物理的に捉え体育運動の研究や身体¹⁵⁾¹⁶⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾²⁷⁾発達の目安として、従来極めて数多くの報告を見るが、これ等の現象の動因として考えられる生化学的分野については、エネルギー代謝の研究及び尿中排泄物質の¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾観察等に止っていて、生体内における循環機能と直接結びつく血液の成分や性状の変化と循環器系の機能の変化との関係については多く

¹⁷⁾の報告を見ない。著者等はこのような見地から、運動における循環機能の適応現象に関して生化学的方向より研究したいと考えた。

血液を構成する成分の中で、水は血液の約80%を占めその変動は極めて小範囲であると言われる。¹⁾⁷⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾これは血液の恒常性を保つ上に極めて重要な役割を果していると言う証拠になると考えられる。そこで血液中の水分が運動をすることによってどのような変動を示すかを中心にしてその他の血液成分との関係を追究し、循環機能の適応の態度を明らかにしたいと思う。

実 験 方 法

1 動物実験

実験用動物として健常な白色家兎（体重1.5kg~2.5kg）を用いた。家兎を八角形の回転箱²⁸⁾に入れて1分間約15回²⁸⁾の速度で5分間回転して他動的に運動させた。

採血は安静時、運動直後（2~5分）、10分後、30分後、1時間後、2時間後まで行った。

測定項目は赤血球数、ヘモグロビン量（ザーリ値）、ヘマトクリット値、血液水分量、血液及び血漿粘度とした。ヘモグロビン量は50°C~60°Cの温溶15分後の値（%）をとった。血液水分量は黒田氏⁷⁾¹²⁾法により、ガラス毛细管採血秤量及び乾燥秤量の差から百分率を求めた。血液粘度は耳静脈から流れ出る血液にガラス細管（口径5mm長さ12cmの細管の内壁にヘパリン注射液0.03CCを塗って37°Cの孵卵器²⁾に入れて乾燥したもの）の一方の口をあてて吸引させ凝固を防ぎ採血し、Hessの粘度計²⁾で測定した。

2 人体による実験

体育専攻学生に100m, 400m, 1,500m, 10,000mの距離を疾走させて、赤血球数、白血球数、ヘモグロビン量、血液水分量、ヘマトクリット値、血液及び血漿の粘度、舌下温、脉搏数、血圧等を測定した。

また沃度澱粉法⁵⁾⁶⁾（沃度チンキを塗って乾燥させた前額部及び前胸部の皮ふに溶性澱粉をヒマシ油に混じたものを塗って行った）によって発汗の時期を観察した。

測定の時期は安静時、疾走直後（5分以内）、10分後、30分後とした。

実 験 の 結 果

1 家兎の場合

家兎による実験の結果は第1表のとおりであった。

血液水分量は運動後において安静時よりも2%内外の減少を示したが、30分後には完全に回復した。¹³⁾¹⁴⁾

赤血球数は運動後9%の増加を示したが、その後多少の増減を示しながら1時間後には回復した。ヘモグロビン量は運動後12%の増加を示したが、赤血球数と略々同様な傾向を見せて1時間後には回復した。ヘマトクリット値は運動後5%の増加を示し、その後赤血球数と全く平行して1時間後には

回復した。

血液粘度は運動後14%の増加を示したが10分～30分後には減少し1時間後には回復している。血漿粘度は運動後から減少を示した。

第1表 家兎の運動負荷後の血液性状の変動

時 項目	安静時	運動直後	10分後	30分後	1時間後	2時間後	例数
血液水分%	81.5±0.81	79.9±1.51	81.0±1.55	81.5±1.18	81.3±1.02	81.8±0.64	8
変動率	100	98	99	100	100	102	
赤血球数万	618±44	675±71	625±69	640±53	613±47	633±87	8
変動率	100	109	101	103	99	102	
ヘモグロビン量% (ザリー値)	101±8.3	113±13.6	108±6.2	105±9.4	101±7.0	103±5.1	8
変動率	100	112	107	104	100	102	
ヘマトクリット値%	41.5±1.5	43.6±1.6	41.2±1.2	41.7±3.3	41.8±2.8		5
変動率	100	105	99	100	101	—	
血液粘度	4.37±0.38	4.99±0.85	4.33±0.57	4.04±0.51	4.35±0.44		5
変動率	100	114	99	92	100	—	
血漿粘度	1.8±0.5	1.7±0.3	1.6±0.3	1.62±0.1	1.58±0.4		5
変動率	100	95	88	90	88	—	

2 人体の場合

人体についての実験の結果は第2表のとおりであった。

血液水分は長距離走では運動後わずかに減少を示したが、30分後には反って増加を示した。中距離走では運動後わずかに増加を示し、短距離走では30分後になってわずかに増加を示した。

赤血球数は、長距離走では直後14%の増加、30分後で4%の増加を示したが、中距離及び短距離走では直後わずかに1%の増加を示した。ヘモグロビン量は長距離及び中距離走において3%の増加を示したが、短距離走では反って2%の減少を示した。ヘマトクリット値は長距離走では赤血球数と略々同様な傾向をもって増加を示したが、短距離走では殆んど変化を示さなかった。

白血球数⁴⁾²⁸⁾は何れの場合においても増加を示したが、中距離走の場合が最も著しく、30分後においても29%の増加を示した。短距離走がこれに次ぎ、長距離走の場合の増加は最も少なく回復も早かった。

血液粘度は長距離走では38%の増加を示し、30分後においても14%の増加を示した。これに対し短距離走では直後5%30分後7%の増加を示した。血漿粘度は血液粘度とは平行せず長距離走においては7%減少を示し30分後4%の減少で殆んど回復を示した。短距離走では直後6%増加したが30分後では回復を示した。

舌下温は各距離とも同様な傾向を示し、直後少々低下した後、10分後では長・中距離走では少々上昇を示した。

脉搏数は中距離走が最も大きな上昇率を示し、短距離走・長距離走の順序に上昇率が小さかった。

血圧についても脉搏数と同じ傾向を示した。中距離走では50%の上昇を示し、最高最低血圧差(脈圧)も中距離走の場合が最も大きかった。これについて短距離走・長距離走の順序に小さかった。

以上の結果の中、血液粘度、ヘマトクリット値、血漿粘度、舌下温、脉搏数、血圧については例数が少ないので統計的処理を省略した。これ等の件については更に実験を追加して正しい数値を得たいと考える。

第2表 体育専攻学生の疾走後における血液成分及び循環機能の変動

走距離別 項目	長距離走			中距離走			短距離走			例数
	安静時	運動後	30分後	安静時	運動後	30分後	安静時	運動後	30分後	
赤血球数(万)	477±51	533±45	498±28	498±27	503±42	488±30	508±37	516±40	501±40	7
変動率	100	114	104	100	101	98	100	101	90	
ヘモグロビン量(%) (ザリー値)	104±5.7	107±10.8	106±3.9	110±6.5	113±9.0	114±8.4	116±7.5	114±5.8	114±10.2	7
変動率	100	103	102	100	103	104	100	98	98	
白血球数	6,100±900	8,800±900	7,500±300	6,300±800	8,800±1,300	8,100±800	7,000±500	9,700±1,600	8,100±1,000	7
変動率	100	128	109	100	140	129	100	139	116	
血液水分(%)	79.3±1.0	78.7±0.8	79.9±1.1	79.1±1.2	79.5±1.5	79.3±0.8	78.6±0.8	78.6±1.0	79.8±0.5	10
変動率	100	99	102	100	101	101	100	100	101	
血液粘度	4.2	5.8	4.8	—	—	—	4.1	4.3	4.4	4
変動率	100	138	114	—	—	—	100	105	107	
ヘマトクリット値(%)	33.7	36.5	38.7	—	—	—	40.4	39.9	41.3	4
変動率	100	108	115	—	—	—	100	99	102	
血漿粘度	2.05	1.90	1.97	—	—	—	1.77	1.83	1.77	4
変動率	100	93	96	—	—	—	100	106	100	
舌下温	36.7	36.3	37.4	36.7	36.0	37.2	37.2	36.3	37.4	4
変動率	100	99	102	100	98	101	100	98	100	
脉搏数	52	122	86	49	129	89	59	140	95	4
変動率	100	232	165	100	263	200	100	237	161	
血圧	122-61	164-51	124-68	126-60	189-48	132-59	126-62	170-46	127-61	4
変動率	100	134-84	102-110	100	150-80	105-98	100	135-74	101-98	

考 察

先ず第2図によって家兎の場合について考察を進める。

運動負荷の直後において赤血球数は9%の増加を示し、ヘマトクリット値もまた5%の増加を示した。ヘモグロビン量においては12%の増加で極めて著明であるが、前二者の関係から考えると増加することは当然である。赤血球数が増し、ヘマトクリット値が増して血球の量が増加しているのだから、血液の水分量はこれと相対的に当然減少する筈であるが、実験の結果では水分の減少率は極めて僅少で2%の低下に止った。

この時期において血液の粘度は14%の亢進を示し極めて著明であった。これは血液中の赤血球の数及び量が増加し、また水分の量がわずかではあるが減少しているのであるから当然の帰結と考えられる。

血漿の粘度は前者とは逆に5%の低下を示した。このことから考えると血漿の水分量は増加しなければならない。しかし前述のように血球の数及量が著明に増加したことから当然減少すべき血液水分量が、わずかの減少に止ったことから考えると、血漿の水分量が増加したであろうと考えることは理に合うことであって、この場合の血漿粘度の低下は否定的ではない。

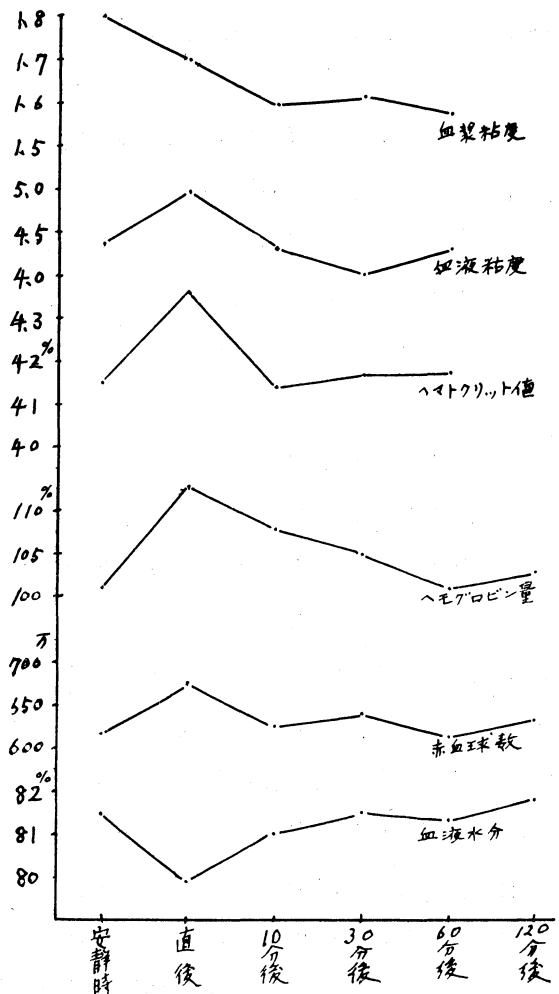
10分後の経過では運動直後の状態に比較して赤血球数、ヘマトクリット値の急速な減少が見られ、従ってヘモグロビン量の減少となって現われ、血液水分は増加の傾向を示した。これ等の組合せから考えると血液粘度が低下したことは当然であり、血漿粘度が更に低下したことも当然であろう。

30分後の経過では、赤血球数及びヘマトクリット値は殆んど変化がなく、ヘモグロビン量は更に安静時の値に近くなった。これは血液水分量の漸増に関係して当然考えられる。血液粘度は更に低下を示した。これも赤血球の量が安静時と殆んど不変であるのに対して血液水分量が漸増したのであるから当然の帰結と言える。

60分後においては血漿の粘度が安静時の値の12%減を示した。他の項目については何れも安静時の値に回復した。

以上の結果から考えてみると、血漿粘度に関係する血漿の水分量が問題になる。血漿水分量

第1図 家兎の運動負荷後の血液性状の変動比較



の増減については、血液水分像の中では血球の水分量との相対的な関係も考えられ、また、運動時の血圧上昇や毛細血管壁の透過性の亢進等から考えると、血圧と血漿有効膠質滲透圧との差の増大に原因する血漿水分の組織間液への移動の増大が、毛細血管下流における水分の逆吸収量よりも多くなって血漿水分量としては減ずる傾向が予想される。しかるに前述のとおり血漿粘度の低下は血漿水分量の増加を前提として考えねばならない。また血漿中の蛋白質の濃度も血漿の粘度に関係する重要な因子¹⁾であるのでこのことも考慮しなければならない。これ等のことから吾々は更に血漿水分及び血球水分の量並びに血漿蛋白について研究を進めたいと思う。

次に人体における実験の結果について考察する。

長距離走の場合を検討してみると、走った直後においては、血液水分量の低下は僅少であったが、赤血球数は14%の増加を示し、ヘマトクリット値は8%の増加を示した。これらの増加率に比較して血液の粘度の増加は著しく38%にも及んだ。ヘモグロビン量があまり増加しなかった理由はわからないが、ヘマトクリット値はヘモグロビン量との関係よりもむしろ赤血球数との関係が高いと言われていること、及び血中炭酸ガスによる血球膨化作用¹⁾²⁾のあることから考えれば、一応肯定出来るし、粘度が著しく高くなったことについても説明が可能である。血漿の粘度は7%の低下を示した。おそらく血漿の水分量は増加したものと考えられる。これと血液水分量減少（減少率は僅少であった）との関係は、家兎における考察と同様に血液水分量は当然大きな減少が予想されるのに、その減少率が少なかったことから一応説明できる。しかし血漿粘度の変動の要因は前述のように複雑であると考えられる。また血液水分量の恒常性維持の機能が速やかに行われることにもよるのであろう。

30分後血液粘度は運動直後に比べて大きく減少し安静時値の14%増となり、ヘマトクリット値は増加して安静時値の15%増を示した。赤血球数、ヘモグロビン量等は安静時値に回復したのであるから、血液粘度が下降しはじめたのは、血液水分量が増加を示した関係から当然である。しかしこの際におけるヘマトクリット値が更に増加したのは赤血球が膨化したためであろうか、その理由はわからない。

血液粘度が安静時値の14%増になっていることとヘマトクリット値が安静時値の15%増になっていることは当然理に合っている。

短距離走では、運動直後に血液粘度が5%の亢進を示し、赤血球数、ヘモグロビン量、ヘマトクリット値は不変であったことから、血液粘度の亢進の要因として血漿粘度が高くなる筈であり、また血球の膨化も関係があろうと判断せざるを得ない。事実血漿粘度は安静時値の6%増加を示した。30分後には赤血球数、ヘモグロビン量は変化せず、ヘマトクリット値の増加が見られ、血液粘度の増加も見られた。血漿粘度は安静時値に回復した。このことから考えると血球の膨化や血漿蛋白の増加等の関係を考えざるを得ない。

白血球数は第2図のとおり何れの場合にも運動後著しく増加¹⁾²⁾⁴⁾²⁸⁾を示したが、長距離走の場合は28%増で、中・短距離走の場合は約40%増であった。血液像の中での白血球数は赤血球数に比べて極めて少ないのであるから、これが血液粘度に及ぼす影響は少ないものと考えられる。むしろこの増加の程度

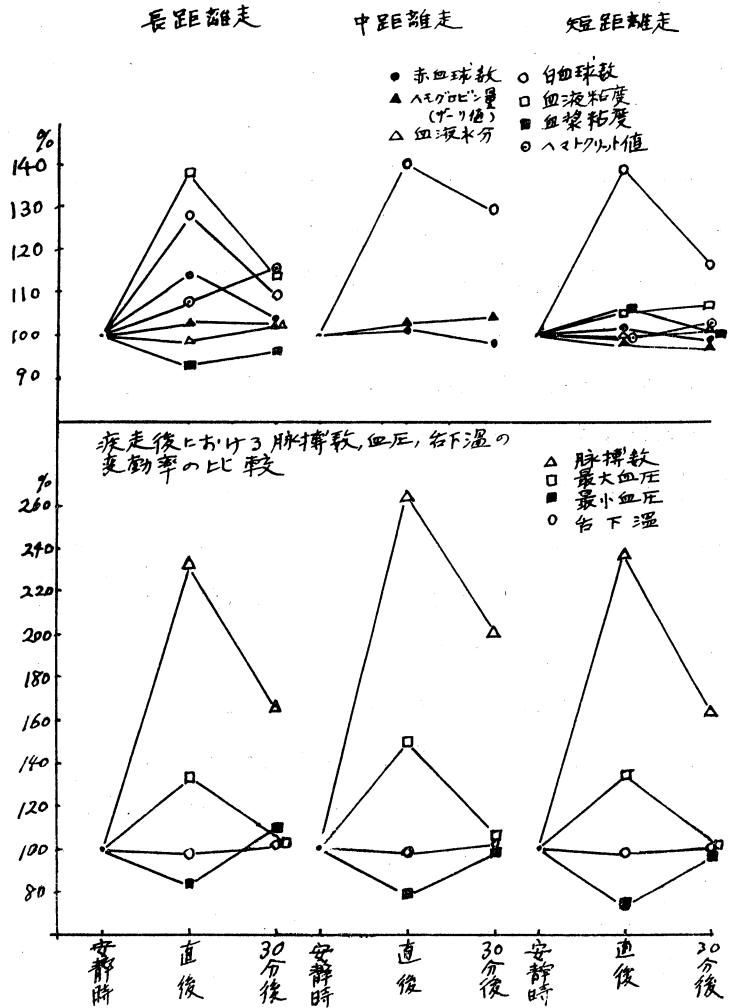
4)28)
 はストレスの強さの指標としての意義が重要であるから、運動の強度をあらわしたものと考えられる。

血液の組成や性状の変動の上から見れば、中距離走は短距離走と類似した傾向を認めた。第2図で脉搏数、血圧、舌下温等の関係を見ても上述の傾向が見られる。

血圧上昇の傾向と血液粘度の傾向とは実験の結果では一致しなかった。血圧上昇の要因としては血液性状の要因よりも末梢血管の抵抗性、或いは血液動員の作用、心臓搏出量の増大等の要因の方が大きく影響していると考えられる。

第一図と第二図との比較によって家兎の他動的負荷による血液性状の変動が、人体の長距離走における変動と甚だ類似した傾向を示すことを認めた。

第2図 疾走後における血液性状変動率の比較



む す び

運動における循環機能の適応に関して、生化学的方法により研究する目的で、先ず血液水分量の変動を中心として、これに関連する血液の組成及び性状等の変化について人体及び動物を用いて実験し次のような結果を得た。

1. 運動における血液水分の変動は運動後2%内外の減少を示し、30分以後には2%内外の増加を示し変動の範囲は極めて僅かであった。このことから血液水分はその恒常性維持の機構が速に行われるものと考えられる。
2. 血圧上昇の要因の一つとして考えられる血液粘度の上昇には、血液水分量や血漿水分量の関係よりも、赤血球量の増加に関係が深いと考えられる。
3. 赤血球数、ヘマトクリット値、血漿粘度等の運動による変動は、中距離走・短距離走よりも長距離走において著明であった。

白血球数、血圧、脉搏数等の変動においては、中距離走・短距離走の方が長距離走よりも大き

く亢進を示した。

稿を終るに当り実験に協力してもらった上村和広君及び被験者の体育専攻学生諸君に感謝申上げる。

参 考 文 献

1. 正路倫之助, 吉村寿人; 医科生理学上・中・下, 1960, 江南堂
2. 藤田敏彦, 細谷雄二, 本川弘一; 生理学講義上, 1962, 南山堂
3. 福田邦三, 長島長節, 畠山一郎; 生理学講座8, II, 1, 1951, 生理学講座刊行会
4. 小田俊郎; 運動の生理と臨床, 1958, 診・治・社
5. 久野寧; 汗, 1946, 養徳社
6. 川畑愛浩; 人体発汗の生理学, 1944, 日本書院
7. 黒田嘉一郎; 最新生理化学, 1957, 医学書院
8. 山村雄一; 医化学, 1962, 南山堂
9. 柳金太郎; 代謝, 1958, 医学書院
10. 吉川春寿; 食物とからだ, 1959, 岩波新書
11. 猪飼道夫; スポーツの生理学, 1959, 体育の科学社
12. 黒田嘉一郎; 臨床病理誌, 1958, 6, (3) 251
13. 田村満夫; 四国医学誌, 1958, 74, 423, 426
14. 佐伯富士雄; 生化学誌, 1957, 29, 527, 540, 534, 537
15. 佐々木保, 坪井実, 石母田稔; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 3
16. 河谷正光; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 3
17. 金子志郎, 三浦義光, 岩田嘉幸; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 8
18. 北浜章外3名; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 8
19. 奥谷博俊, 柳沢運; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 7
20. 岡芳包, 外3名; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 9
21. 橋本邦衛; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 9
22. 平岡馨, 戸谷真澄; 体力科学誌, 1955, 5, (1), 10
23. 井関敏之, 近藤達夫, 三木文雄; 体力科学誌, 1955, 5, (6), 276
24. 住吉薫, 外4名; 体力科学誌, 1955, 5, (6), 251
25. 村上長雄; 体力科学誌, 1955, 5, (6), 252
26. 坪井実, 外5名; 体力科学誌, 5, (6), 252
27. 鈴木義明; 体力科学誌, 1956, 6, (1), 24
28. 大永政人; 鹿大医誌, 1961, 12, (6), 79, 102

Summary

With a view to studying from a biochemical standpoint the effect of physical exercise on the functional fitness of the circulatory system, we have conducted a series of experiments and obtained the following results concerning the changes in the formation and property of blood.

1. The water in the blood decreased by about 2 per cent immediately after exercise, while it showed an increase of 2 per cent 30 minutes later. It may be inferred from this that the mechanism of keeping the blood water constant functions speedily.

2. It is imagined that the increase of blood cells has more to do with the rise of blood mucosity (which is regarded as one of the factors causing the rise of blood pressure) than the blood water or blood-plasma mucosity.

3. The quantity of red blood corpuscles, hematocrit and blood mucosity showed a greater increase in the long-distance runners than in the middle-distance runners or sprinters. The quantity of leucocytes, blood pressure and pulse showed a greater increase in the middle-distance runners and sprinters than in the long-distance runners.