

从海拔 50 米登上珠穆朗玛峰的心电图分析

石中爰 宁学寒 朱受成 赵德铭 黄彭国

(中国科学院上海生理研究所)

杨生岳 王 燕 董兆申

(中国人民解放军第四医院)(中国人民解放军第四军医大学)

摘 要

1975 年 5 月,我国 9 名登山队员再一次登上珠穆朗玛峰.与此同时,我们用无线心电图遥测仪对登山运动员的心电图进行了描记.本文着重对 6 名登上顶峰的登山队员由海拔 50 米登至 8200 米以上的心电图特征进行了分析.结果表明,由平原到达海拔 8200 米以上高度后,心电图上明显变化的是心率、心电图轴、 $Q-T_R$ 、 $Q-T/T-Q$ 、 P 波及 T 波等指标,但是在这些优秀登山运动员的心电图上,未发现 T 波平坦、双相或倒置现象,也未见有 $S-T$ 段的异常偏移.这充分说明,这些登顶队员有优良的身体素质和良好的低氧适应能力;还表明经过低氧训练和适应的人(包括高原世居者和低地世居者)在这样极度的低氧条件下,在相当的时间内,其生理功能可维持在正常范围内.

特高海拔高度对人体生理功能的影响及人体适应能力的研究,近年来引起人们的重视^[1-4].海拔 8000 米以上的高度严重缺氧,可使未经低氧适应的人体生理功能发生显著变化或明显障碍,乃至危及生命.但是,经过长期锻炼的登山队员,对低氧环境具有良好的适应能力,可不用氧气登上 8000 米以上高度,并在此种高度过夜^[2].优秀登山队员的这种良好适应能力,推测与其换气功能有关的肺循环状态以及与心泵性能对输氧中的作用可能有密切关系.已知心泵性能在急性低氧耐受性上及特高海拔的适应性上至关重要^[5,6].心泵性能逊色者,其低氧适应能力及攀登能力均低.但在攀登 8000 米以上高度的山峰时,心泵性能与当时攀登状态和适应表现的联系如何?尚未见有报道.虽然登山活动中已作了心电图的记录^[4],但在世界最高峰—珠穆朗玛峰顶的心电图,在此之前,从未能记录下来.1975 年中国登山队登上珠穆朗玛峰的过程中,我们采用心电图遥测技术,作了心电图追踪观察,对心电图表现和心泵的变时效应,结合适应状况,进行了分析,探索极度缺氧对人体心电图的影响和心电图变化与人体适应能力的关系.

一、受测对象及方法

参加受测的有男登山队员 5 名,女登山队员 1 名,年龄为 26—37 岁,5 名为藏族,1 名为

汉族,都在 3000 米左右的地区居住了 10 年以上,在海拔 50 米描记了对照心电图。在登山过程中分别在 5000 米、6500 米、7600 米、8200 米以及 8680 米和顶峰,记录心电图;在返回 5000 米、3700 米和 50 米后三个月内又按月追踪描记了心电图一次。在海拔 6500 米及其以下高度,多用心电图机直接描记。在 7600 米以上高度,均系用无线心电图遥测仪记录。由登山队员将发射部分携至特高海拔及顶峰进行发射,科考队员在海拔 6500 米和 5000 米接收,经解调后记录于 XD-4 型心电图机。为便于自身比较,心电图受测者一律采用仰卧位。心电图按通用方法分析。

二、结 果

经登山队员和科考队员的共同努力,成功地遥测记录了海拔 7600—8848.13 米(顶峰) 15 人次的心电图,其中 7600 米有 5 人次,8200—8300 米有 6 人次,8680—8848 米(顶峰)有 4 人次。8200 米以上 10 人次的心电图,是世界上最高的心电图。

1. 心率的变时效应

(1) 心率随海拔高度升降而增减 全部受测者的心率,都随海拔高度的上升和下降而增减。在海拔 50 米平均为 60.6 次/分,到达 5000 米一星期左右平均为 73.0 次/分,比上山前增加了 12.4 次/分,在 6500 米平均为 86.0 次/分,在 7600 米平均为 101.6 次/分,在 8200 米平均是 109.5 次/分,于 8680 米至顶峰平均为 111.5 次/分,心率的均值比任何高度都高,返回 5000

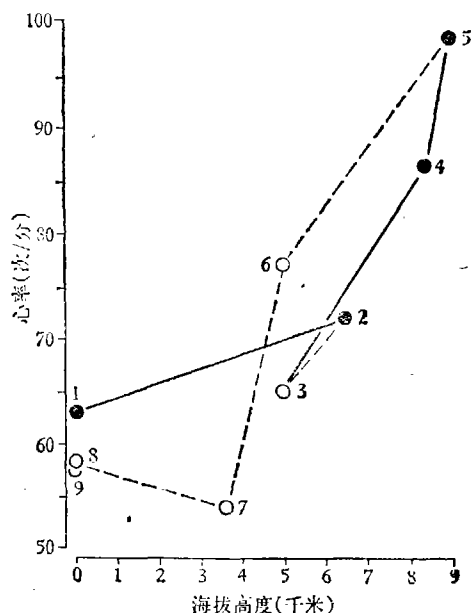


图 1 海拔 50 米—8848 米心率的变化

(图示女登顶队员潘多,从海平地区直到登上顶峰,然后返回海平地区三个月心率的变化。黑点与实线表示上山,圆圈与虚线表示下山。在登顶前于 5000 米大本营的心率与登山前的海平值相似。图中号码为测定顺序。以下各图的涵义均与此图相同)

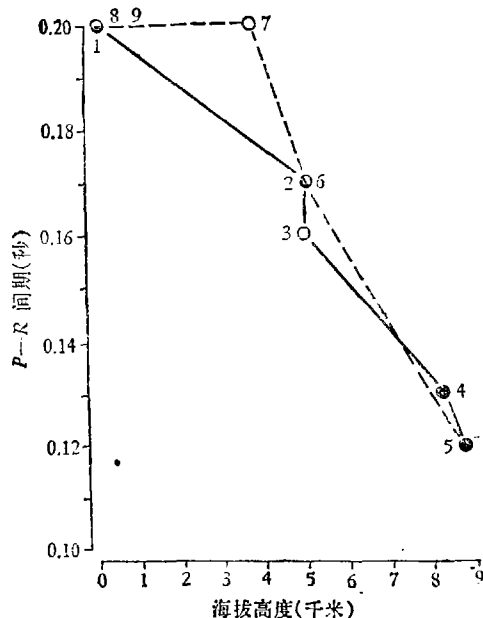


图 2 海拔 50 米—8680 米 P-R 间期的变化

(图示 1 名男运动员,从海拔 50 米至 8680 米之间, P-R 间期的变化。第三次测定系在第二次测定后二个月,从 8200 米返回 5000 米时的记录。8 与 9 分别为返回海平地区一个月与三个月的记录)

米时其均值降为 67 次/分,比初达 5000 米时的均值为低,返至 3700 米时降为 65.0 次/分,返回 50 米一个月为 54.9 次/分,第三个月为 53.6 次/分,均比上山前的对照水平为低(图 1)。

(2) 随着对低氧习服的发展心率增加反应可以消减 在海拔 5000 米高度上二个月后,在习服良好的运动员中,初达时增加的心率,都降到接近海平的对照水平,均值 $\pm$ 标准误为 64.6 ± 2.7 次/分。而适应欠佳的队员,在 5000 米逗留二个月后心率仍为 83.4 ± 2.96 次/分,比 50 米时增加了 20.2%,这些适应欠佳的队员登高能力多在 6500 米以下,这说明在高山地区心率的演变过程与人的适应能力和登山能力有一定的相关性。

(3) 体力活动的影响突出 即使在 8680 米,甚至在顶峰上,低氧与寒冷叠加的作用,在心率的增加上,对优秀的登山队员影响并不显著。但是,轻微的体力活动都可以使心率明显增加。40 号运动员攀登至 8680 米休息片刻后测定的心率为 139 次/分,再休息 1 小时后就下降为 117 次/分,说明在特高海拔上体力活动对心率的影响较为突出。

(4) 无明显传导障碍 在任何海拔高度,均未在这 6 名运动员中观察到明显的传导障碍。但在其他习服能力欠佳的运动员中曾观察到传导阻滞的表现。

在这 6 名登顶运动员中, P-R 间期,除 1 名运动员随着海拔的升降而在正常范围内有明显增减外(图 2),其他 5 人的变化都不显著。

2. 心肌的除极化过程

(1) 额面 QRS 平均电轴在高山多右移 这 6 名运动员中,除 52 号运动员在 50 米心电轴左偏 -44° ,于 6500 米和 7600 米高度分别达到 -70° 和 -90° ,比对照更加左偏外,其他 5

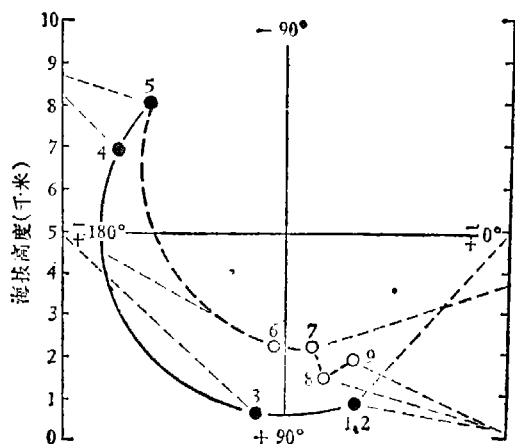


图 3 海拔 50 米—8680 米心电轴的变化

(图示 1 名男登顶队员,从海拔 50 米到 8680 米间, QRS 额面平均电轴的变化。第三次测定系在第二次测定后二个月,由 8200 米高度返回 5000 米高度的记录。细点线所指纵坐标处为测定时的相应高度)

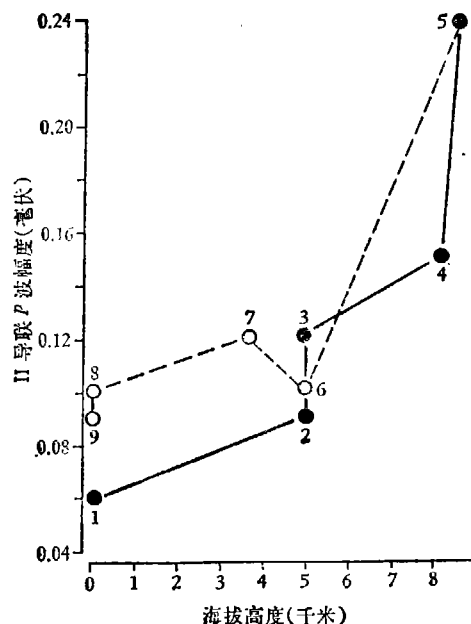


图 4 海拔 50 米—8680 米 P 波幅度的变化

(图示 1 名男登顶队员,从海拔 50 米至 8680 米之间,标 II 导联 P 波幅度的变化。第三次测定系在第二次测定后二个月从 8200 米返回 5000 米的记录。8 与 9 分别为返回海平地区一个月与三个月的记录)

名队员中有 4 名都随着海拔的上升, 发生电轴右移; 另 1 名直到 8200 米, 电轴仍在 50 米的 $90^\circ \pm 5^\circ$ 的范围内波动。

虽然在突击登顶过程中, 于海拔 8000 米以上, 心电轴发生迅速的偏移 (图 3), 但是, 在 5000 米这种变化是渐进性的。如图 3 所示, 该运动员在初达 5000 米高度时, 心电轴与在 50 米的 69° 一样, 习服二个月后, 右移到 99° , 当登上 8680 米高度时, 迅速右移至 $+136^\circ$, 可是登顶后返回 5000 米的当天, 心电轴已经恢复到 94° , 返至 3700 米时, 恢复至 79° , 直到返回 50 米三个月后才恢复至 63° 。我们还观察到在另一组登山队员中, 即使返回平原三个月后, 仍有在高山右移的心电轴未完全恢复的情况。

(2) *P* 波幅度随海拔高度升降而增减 当攀登至 6500 米时, *P* 波幅度的升高已较明显。于 7600 米以上高度, *P* 波的振幅可以比对照水平高出 3—4 倍, 由顶峰下返 5000 米后, *P* 波振幅随之下降, 回到海拔 50 米后, *P* 波幅度又逐渐恢复到上山前的对照水平 (图 4)。

(3) *QRS* 波群无显著异常 随着心电轴改变, 在 *QRS* 波形上, 除有相应的 *R* 波与 *S* 波比例改变之外, 在这批运动员中, *QRS* 波群未见有显著异常。

3. 心肌复极化过程

(1) $\frac{Q-T}{T-Q}$ 及 $Q-T_R$ 值随着海拔高度升降而增减 随着海拔高度的上升, 当心率增加的同时, $\frac{Q-T}{T-Q}$ 值也明显增大 (图 5)。在海平地区, $\frac{Q-T}{T-Q}$ 值平均为 0.671, 攀登至 7600 米时, 其平均值显著增大为 1.475, 在 8200 米以上 $\frac{Q-T}{T-Q}$ 值平均为 1.862。在返回平原时, 恢复速度

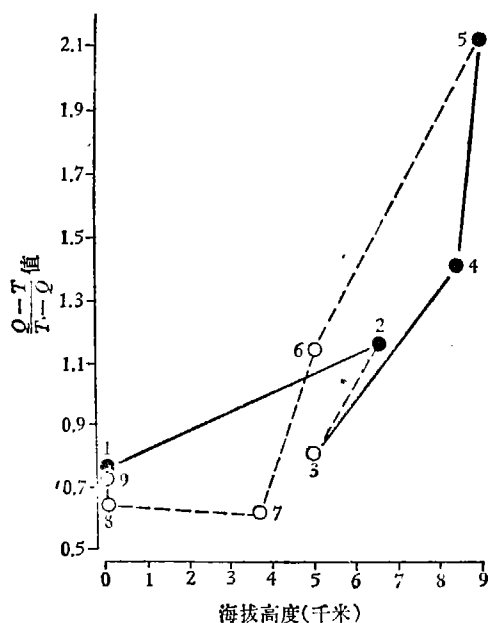


图 5 海拔 50 米—8848 米 $(Q-T)/(T-Q)$ 值的变化
(图示 1 名女运动员, 从海平地区到达珠峰顶峰, 以及返回海平地区三个月, 心电图的 $(Q-T)/(T-Q)$ 值的变化)

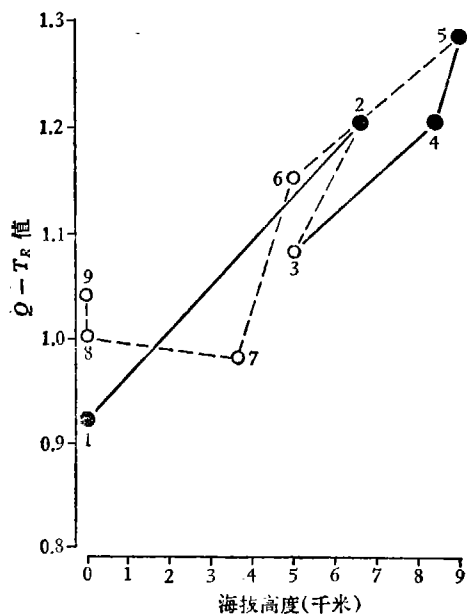


图 6 海拔 50 米—8845 米 $Q-T_R$ 的变化
(图示 1 名女运动员, 从海平地区到登上顶峰以及返回海平地区三个月, 心电图 $Q-T_R$ 值的变化)

较快。另外,在 5000 米高度上,随着习服的发展,当心率增快反应消退的同时, $\frac{Q-T}{T-Q}$ 值增大反应也逐渐消退。

$Q-T_R$ 的反应比较特殊,它也跟着海拔的上升而增大。其均值在海平地区为 0.92,在海拔 5000 米升高为 1.04,登至海拔 7600 米时,均值升高为 1.10,登上 8200 米以上至顶峰时,其均值增高为 1.16,所有受测者都超过海平最高值 1.08 的水平。登顶后返回 5000 米大本营的当天,6 名登顶队员中有 5 名 $Q-T_R$ 大于或等于 1.08,1 名为 0.98,在返至海拔 50 米时,此种增大反应的消退较为迟缓(图 6)。

(2) $ST-T$ 波的变化在习服良好者不显著 这 6 名登顶队员,在任何高度上记录的心

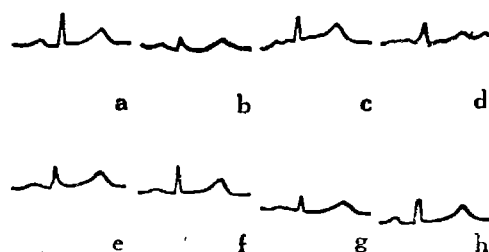


图 7a 海拔 50 米—顶峰的标 I 导联心电图

(a. 海拔 50 米, b. 5000 米, c. 6500 米, d. 顶峰, e. 返回 5000 米, f. 返回 50 米一个月, g. 返回 50 米二个月, h. 返回 50 米三个月。在各个海拔高度上,均无明显的 $ST-T$ 波异常。

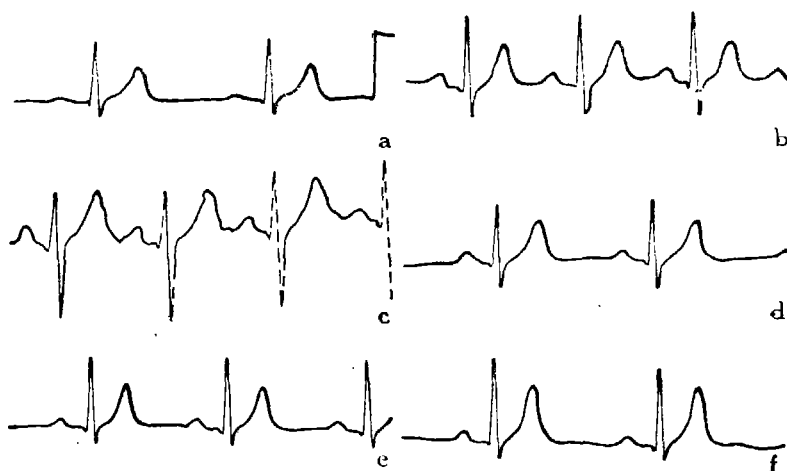


图 7b 海拔 50 米—8680 米的标 II 导联心电图

(a. 海拔 50 米, b. 5000 米, c. 8680 米, d. 返回 3700 米, e. 返回 50 米二个月, f. 返回 50 米三个月。在各个海拔高度上, $ST-T$ 波均无明显异常。在 8680 米, P 波幅度增高,相当于 50 米的 4 倍, S 波有明显增深)

电图都无 $S-T$ 段明显降低,也无 R 波为主导联的 T 波倒置,双相或平坦表现(图 7a 与图 7b)。在 5000 米地区辅以体力负荷后也未见有 $S-T$ 段及 T 波的异常变化。

在攀登高山的过程中,通常随着海拔高度的上升,标 II 导联的 T 波多有降低;但在特高海拔高度,又现增高。返回较低海拔时,降低的 T 波多有恢复趋势,有时可比登山前为高(图8)。

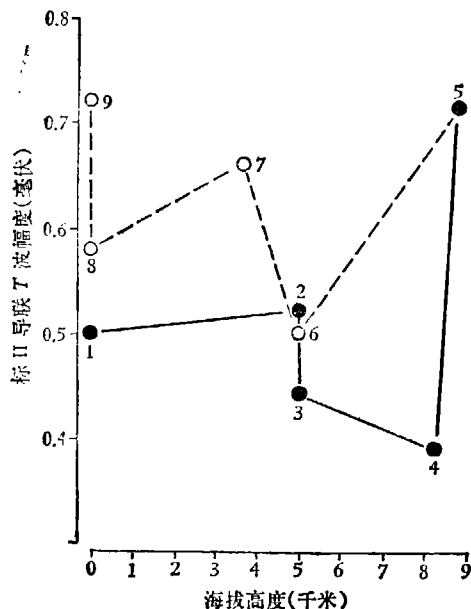


图8 海拔50米—8680米 T 波幅度的变化

(图示1名男运动员标 II 导联 T 波幅度,从海拔50 米登上8680 米,再返回海平地区三个月期间的变化。第三次测定系在第二次测定二个月后,从8200 米高度返回5000 米时的记录)

三、讨 论

心电图对心泵的应激反应、同步作用和变时效应具有优良的表现能力。

心脏泵性能主要由舒缩作用来体现。舒缩作用的频率——心率变化,构成变时效应、舒缩作用的强度变化,乃构成变力效应。在应激状态下,变时效应与变力效应都具有重要的变化特征,从心电图测得的心率变化,可以反映心脏所蒙受应激的程度。在海拔5000米高度,经过一段习服时间后,初达该高度时增快的心率反应消退,提示这种程度的低氧刺激,使心脏已从急性应激状态中受到了“锻炼”,发展成良好的习服状态。这时,运动员的体力状况确实良好,而习服较差的另组队员,都仍然保留着明显的心率增快反应,他们的体力状况较前者明显下降。可见变时效应的这一变化特征,与高山低氧情况下心泵性能的优劣及适应表现有所联系。

心电图上复极化过程的指标是心肌代谢状况的反映;而心肌代谢状况,又是心泵变力效应的生化基础。因此,心电图上复极化指标的变化,在一定程度上,可用以推测变力效应的状况。

在这6名运动员中,虽然 $\frac{Q-T}{T-Q}$ 和 $Q-T_R$ 值都随着海拔升高而增大,提示心肌代谢受到了低氧的影响;而 $S-T$ 段未呈现缺氧性降低,在 R 波为主的导联上, T 波未发生倒置或双相的改变,表明低氧的影响尚未达到伤害心肌的程度。尽管 T 波随着海拔高度上升有降低的趋势,然而8000米以上的低氧、严寒和繁重的攀登活动,都可使 T 波幅度再度升高,说明心肌代谢未

受到显著损害。相反,在另组有着明显高山适应不良症状的其他运动员中,已发生的倒置 T 波,不仅在特高海拔不能自行恢复,而且在给予氧气吸入后也很难迅速得到改善。这就提示其心泵变力效应可能较差^[7]。在特高海拔,标 II 导联 P 波电压的增高,与心电图轴的剧烈右偏常相伴发生,这可能是严重低氧和攀登活动使肺动脉压力的上升和右心负荷加重的结果。

判断高山适应佳否最普通的办法是观察一个人在高山上是否具有正常的生活能力及体力,脑力活动能力。最大摄氧量是判断体力负荷能力的一项指标,而心泵性能的优劣与最大摄氧量有着相应的关系。因此,心泵性能的状况与高山适应能力之间有重要的联系。在顶峰上,这 6 名队员都进行了繁忙而紧张的科学考察活动达 70 分钟,未吸一口氧气,其需氧量几乎全凭本身的“气泵”(呼吸功能)和“血泵”(循环功能)提供,其心泵性能的优良是可以想象的。从所测定心电图记录来看,在 8200 米以上高度,心率都未超出 139 次/分,正性变时效应并不剧烈。变力效应与变时效应的动员水平是心泵储备能力优劣的一项标志^[5]。从这 6 名运动员心率不太快、心电复极化过程尚无严重缺氧表现来看,他们的心泵性能应处于良好状态,这与他们优越的攀登能力和低氧适应能力相符。这 6 名运动员中有 3 名在从 5000 米的大本营出发之前,作了“心室功能测验”^[5],他们的“搏血力指数”远比适应能力差的另一组队员为高,这也说明他们的心泵性能优于适应能力差的队员。并且,由间接推测的心肌氧耗值来看,也比适应能力差的队员均值为低。这些有利条件可能是登顶过程中心泵性能优良的有关因素。

Milledge 等^[4]曾观察到 5791 米习服几个月后,右胸前导联 T 波倒置。给予氧气吸入,未影响倒置的 T 波。我们曾观察到^[7]在 5000—6500 米的高度,右胸导联 T 波倒置的发生率很高,而且这种变化于标 III 导联也较易出现;但是,一旦标 II 与左胸导联发生了 $ST-T$ 波异常变化时,一般总是和适应不良相联系。Albrecht 等^[8]在 6200 米观察到 $Q-T$ 延长, T 波扁平;并认为这与心肌发生“病理性代谢”有关,在此高度,工作能力下降了 50%。我们在记录 8680 米的心电图前,运动员在负重约 20 公斤的情况下进行了 6 个多小时的攀登活动,但 T 波形状正常,未见有 $S-T$ 段的异常变化,这就提示:尽管环境严重低氧,但心电图表现仍然良好,与已往的 5000 米以上资料比较,可看出这些登上世界最高峰的运动员具有优良的心脏功能^[6,7]。

* * *

研究表明,随海拔高度的升降,心率, $\frac{Q-T}{T-Q}$ 和 $Q-T_K$ 值都有增减,但各有特点;额面 QRS 平均电轴在高海拔多有右移的趋势,也可不变或左移, P 波压力可在高海拔处明显升高,未见缺氧性 $ST-T$ 波的变化。从心电图表现与心泵变时效应及变力效应的联系上,看到这批运动员有优良的心泵性能,而且心电图表现和心泵性能及高山适应能力之间有相应的关系。

参 考 文 献

- [1] Pugh, L. G. C. E., *Brit. Med. J.*, 2(1962), 621—626.
- [2] Siri, W. E. et al., *Fed. Proc.*, 28(1969), 1251—1254.
- [3] Cerretelli, P., *J. Appl. Physiol.*, 40(1976), 658—667.
- [4] Milledge, J. S., *Brit. Heart J.*, 25(1963), 291—298.
- [5] 宁学寒等,应用心泵功能测验评价急性低氧习服性,珠穆朗玛峰科学考察报告,科学出版社(即将出版)。
- [6] 石中暖,珠穆朗玛峰高山生理科学考察综述,珠穆朗玛峰科学考察报告,科学出版社(即将出版)。
- [7] 石中暖等,高原世居者与平原世居者对高山缺氧生理反应的比较,中国科学,1979,7,698—709.
- [8] Albrecht, H., et al., *Fed. Proc.*, 28(1969), 1262.