特集

「医学とスポーツ」

スポーツと循環器疾患

北 野 大 輔

日本大学医学部内科学系循環器内科学分野

Association between Exercise and Cardiovascular System

Daisuke KITANO

Division of Cardiology, Department of Medicine, Nihon University School of Medicine

The global COVID-19 pandemic has changed our lifestyles. Self-constrained life, as a part of the “stay-home” approach to combatting COVID-19, has also changed the incidence of diseases. The number of patients with ischemic heart disease and heart failure requiring treatment has decreased. It is well known that exercise can prevent and improve many lifestyle-related diseases. In competitive athletes, it is also known that exercise can alter cardiac function for physiological adaptation. This section will review the relationship between exercise and the cardiovascular system.

Key words: athletic, exercise, cardiovascular disease
運動, スポーツ, 循環器疾患

(J. Nihon Univ. Med. Ass., 2021; 80 (2): 55–59)

1. はじめに

世界的な新型コロナウイルスパンデミックによって社会生活が著しく変化し、ライフスタイルも変化している。自粛生活、所謂「stay home」のため、運動習慣が減少することにより疾患構造も変化したと考える。つまり、我々の守備範囲である循環器疾患においてはFig. 1のように新型コロナウイルス感染症の流行前と比べ、虚血性心疾患に関しては安定型狭心症の数は変わらなかったものの、急性冠症候群の患者は減少していた。しかし、より重症化して搬送される症例が増えていた¹⁾。一方心不全症例に関しても入院を要する心不全症例は減少にあった (Fig. 1)。これらは自粛により運動負荷が減少した結果と考えられる。運動が多くの生活習慣病を予防・改善することは一般的となっている。米国・ハーバード大学の卒業生を対象とした追跡調査では1週間に2000 kcal以上を消費する運動を行なった人はそれより少ない人に比べ、心臓発作による死亡の危険性を30%減少させることがわかっている²⁾。逆に運動には危険な側面も存在する。しばしば、運動中に突然死したというニュースを目にするが、海外の報告では運動中に心臓発作を起こす危険性は非運動時に比べ4~12倍高かったと報告されている。そこで本項では運動と循環器疾患の関連性と日常診療における運動療法について概説する。

2. スポーツと循環機能

長期の運動負荷によって心肺機能の増強が起こることはスポーツを行う者であれば理解できるかと思う。実際

Fig. 1 Trends of ischemic heart disease and heart failure before and after COVID-19. 自施設データ.

に長期的な身体的トレーニングの結果、生理的な適応として心肥大・心拡大や徐脈を生じるが、この所謂「スポーツ心臓」は臨床的な予後に関わる心肥大・心拡大、不整脈とは異なる病態と考えられている³⁾。持久系トレーニングの結果として左室拡張末期径が大きくなることが報告されている⁴⁾。これは長期的な容量負荷により遠心性の左室拡大が生じた結果であり、左室拡張末期容量は最大酸素摂取量と相関している⁵⁾ことを考慮すると運動による生理的な適応であると考えられる。また、ストレンクス系トレーニングでは圧負荷により求心性の心筋肥大が起きるとされているが⁶⁾、体表面積や除脂肪体重で補正すると左室肥大は正常範囲内であると報告されている⁷⁾。これらのトレーニングに起因した心肥大・心拡大が心疾患の原因・予防になるかは明らかになっていない。

Fig. 2 Mechanism of cardiac sudden death associated with exercise.

文献 33 より著者が作図.

スポーツ心臓の表現系として心肥大・心拡大だけではなく、安静時の徐脈もしばしば認めることがある。特に 40 bpm 以下になることも少なくない。これはトレーニングの結果、安静時の副交感神経系が優位となり、交感神経系の入力閾値が上昇した結果といわれている⁸⁾。そして、徐脈傾向は心房細動などの病的な不整脈に移行することがある⁹⁾。しかし、徐脈自体が悪さをするという報告はほとんどなく、無症状である場合は特に介入する必要はないとされている。実際にスポーツ選手を対象とした大規模な研究では 4 秒以上の洞停止は認めなかった¹⁰⁾。ただし、トレーニング中にめまいや失神などの症状が生じる場合にはトレーニングの中止や永久ペースメーカー植え込みが必要となる¹¹⁾。

3. スポーツにおける不整脈・突然死

運動中の突然死の報道を毎年見聞きすることがあると思われる。多くは本来健康であると認識されていた人に生じることから、その衝撃は計り知れない。運動中の突然死の頻度は正確な疫学調査が困難であることから実態が把握できていないものの、過去の報告からは剖検例の 0.3–0.5% と言われている^{12–14)}。運動における突然死の機序として古くから Fig. 2 のように、主に運動開始や運動中のストレスが関与するものと運動の急激な中止に伴う循環応答や自律神経の変動によるものが考えられているが、前提として潜在性心疾患の存在は重要である。運動中の突然死の原因となる心疾患として、若年者では拡張型心筋症などの心筋症や冠動脈奇形、Brugada 症候群・QT 延長症候群といった致死性不整脈が原因となるが、高齢者では冠動脈疾患が一般的な原因となる (Fig. 3)。

運動中の心事故防止のためには基礎心疾患のスクリーニングを予め行うことが重要である。学校健診・企業健診などで早期に発見し、そのうえで、適切に運動負荷の

Fig. 3 Causes of cardiac sudden death during exercise.

文献 12–14, 34–49 より集計、作図.

中止を提案する必要がある。また、運動中に心肺停止例が生じた際の対策も必要となる。これは AED の設置と一般市民による積極的な救命処置の励行である。これらの対策により東京マラソンでは毎年数名の心肺停止症例が発生しているものの、全員が救命されている¹⁵⁾。

4. スポーツと虚血性心疾患

前述のように運動時の突然死の原因として心筋梗塞などの虚血性心疾患によるものが主体となるが、本稿では一次予防としてのスポーツと虚血性心疾患の関連について述べる。心疾患の発症をエンドポイントとした介入研究を遂行することは極めて困難であり、歴史的にコホート研究を中心とした疫学研究から運動と虚血性心疾患の関連性が見えてくる。古くは 1950 年代にロンドンのバス会社の運転手と車掌を対象とした身体活動と虚血性心疾患の関連をみたコホート研究では座位主体の運転手における心疾患での死亡率は、バス内を動き回る車掌の死

Table 1 Examples of exercise therapy in patients with heart failure.

構成
運動前のウォームアップと運動後のクールダウンを含み、有酸素運動とレジスタンス運動から構成される運動プログラム。
有酸素運動
心肺運動負荷試験の結果に基づき有酸素運動の様式、強度、持続時間、頻度を処方し、実施する。 ・様式：歩行、自転車エルゴメータ、トレッドミルなど。 ・強度：最高酸素摂取量の40～60%、心拍数予備能の30～50%、最高心拍数の50～70%、または嫌気性代謝閾値の心拍数。 ・持続時間：5～10分×1日2回程度から開始し、20～30分/日へ徐々に増加させる。 ・頻度：週3～5回。 心肺運動負荷試験が実施できない場合 ・強度：Borg 指数11～13、心拍数が安静座位時+20～30拍程度でかつ運動時の心拍数が120/min以下。 ・様式、頻度、持続時間は心肺運動負荷試験の結果に基づいて運動処方する場合と同じ。 ※心不全の増悪に注意する。
レジスタンストレーニング
・様式：ゴムバンド、足首や手首への重錘、ダンベル、フリーウェイト、ウェイトマシンなど。 ・強度：低強度から中強度。 ・上肢運動は最大反復回数の30～40%、下肢運動では50～60%、1セット10～15回反復できる負荷量で、Borg 指数13以下。 ・持続時間：10～15回を1～3セット。 ・頻度2～3回/週。

文献 50 より作表。

亡率の2倍に相当していた¹⁶⁾。前述のハーバード大学の男子卒業生を対象とした研究では、どの年齢層においても身体活動と虚血性心疾患の発生には負の相関があることがわかっている²⁾。

規則的な身体活動が動脈硬化の危険因子を軽減し、その結果虚血性心疾患の発症を予防することになるとされているが、その機序は完全には解明されていない。運動による血圧、脂質、血糖の改善効果は僅か数%程度であるにも関わらず、心血管疾患は30～50%も抑制することが知られている^{17,18)}。メカニズムの一つとして運動による炎症マーカーの改善、血液凝固抑制効果、血管内皮機能改善効果、副交感神経系の活性化などがあげられている¹⁹⁾。

一次予防としての運動習慣と考えた場合、健康成人では中強度（早歩きなど）～高強度（ジョギングなど）の有酸素運動を1日30～60分程度、週3～5日程度行うことが望ましいとされている^{20,21)}。また、週に2～3回程度の低強度のレジスタンストレーニングも良いとされている。有酸素運動にレジスタンストレーニングを加えることで心肺機能とQOLの改善が見込まれる²²⁾。

5. スポーツと心不全

以前にも本誌でも特集されたように、世界的に心不全患者が増加傾向にある²³⁾。その上で限られた医療資源を配分するためにはいかに心不全の発症と心不全再増悪を予防するかがポイントとなり、入院中および在宅における心不全管理が重要である。新規薬物の登場・機械的補助循環の充実などにより心不全治療は格段に進歩したが、それでもなお心不全の非薬物療法として運動療法・心臓リハビリテーションが重要な治療法として確立して

いる^{24,25)}。心不全患者は運動耐容能が低下していることが多いが、運動療法により運動耐容能が改善することが示されている。これは骨格筋の筋肉量の増加、骨格筋による代謝と機能の改善、呼吸筋の改善、内皮機能改善効果などを介した結果であると考えられている。大規模臨床研究では運動療法が心不全の予後を改善することが示されている^{26,27)}。メタ解析でも運動療法が心不全入院を減少させることが示されている²⁸⁾。心不全における運動療法は運動耐容能の改善・QOLの向上²⁹⁾だけではなく、左室リモデリングの改善³⁰⁾、自律神経系の改善³¹⁾、血管内皮機能の改善³²⁾に効果があるとされている。

心不全症例における運動療法は基本的に運動処方に従って行う (Table 1)。運動処方を決めるためには心肺運動負荷試験や6分間歩行を行い個々の運動耐容能を客観的に評価しておくことが望ましい。運動療法を行う際に、特に高齢者や左室機能が低下している症例、危険な不整脈・虚血症状が出現する可能性がある症例などでは、監視下で行うのが望ましい。

本論文に関して開示すべき利益相反はありません。

文 献

- 1) Arai R, Fukamachi D, Ebuchi Y, et al. Impact of the COVID-19 outbreak on hospitalizations and outcomes in patients with acute myocardial infarction in a Japanese Single Center. *Heart Vessels* 2021; **Mar 20**: 1–10. doi:10.1007/s00380-021-01835-w.
- 2) Paffenbarger RS, Wing AL, Hyde RT. Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni. *Am J Epidemiol* 1978; **108**: 161–175.
- 3) Oakley D. The athlete's heart. *Heart* 2001; **86**: 722–726.
- 4) Utomi V, Oxborough D, Whyte GP, et al. Systematic review

- and meta-analysis of training mode, imaging modality and body size influences on the morphology and function of the male athlete's heart. *Heart* 2013; **99**: 1727–1733.
- 5) Steding K, Engblom H, Buhre T, et al. Relation between cardiac dimensions and peak oxygen uptake. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010; **12**: 8.
 - 6) Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, et al. Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann Intern Med* 1975; **82**: 521–524.
 - 7) Pelliccia A, Maron BJ, Spataro A, et al. The Upper Limit of Physiologic Cardiac Hypertrophy in Highly Trained Elite Athletes. *N Engl J Med* 1991; **324**: 295–301.
 - 8) Hammond HK, Froelicher VF. Normal and abnormal heart rate responses to exercise. *Prog Cardiovasc Dis* 1985; **27**: 271–296.
 - 9) Huston TP, Puffer JC, Rodney WmM. The Athletic Heart Syndrome. *N Engl J Med* 1985; **313**: 24–32.
 - 10) Zehender M, Meinertz T, Keul J, et al. ECG variants and cardiac arrhythmias in athletes: clinical relevance and prognostic importance. *Am Heart J* 1990; **119**: 1378–1391.
 - 11) Ector H, Verlinden M, Eynde EV, et al. BRADYCARDIA, VENTRICULAR PAUSES, SYNCOPE, AND SPORTS. *The Lancet* 1984; **324**: 591–594.
 - 12) 畔柳三省, 松尾義裕, 小島原将直, 他. スポーツ中の突然死. 日本臨床スポーツ医学会誌 2002; **10**: 479–489.
 - 13) Risgaard B, Winkel BG, Jabbari R, et al. Sports-related sudden cardiac death in a competitive and a noncompetitive athlete population aged 12 to 49 years: Data from an unselected nationwide study in Denmark. *Heart Rhythm* 2014; **11**: 1673–1681.
 - 14) Turk EE, Riedel A, Püeschel K. Natural and traumatic sports-related fatalities: a 10-year retrospective study. *Br J Sports Med* 2008; **42**: 604–608; discussion 608.
 - 15) 日本循環器学会, 日本 AED 財団. 提言「スポーツ現場における心臓突然死をゼロに」 [Internet]. 2018; Available from: http://2020ac.com/documents/ac/02/1/5/AC2020_AED_Sports_201804.pdf.
 - 16) Morris JN, Kagan A, Pattison DC, et al. Incidence and prediction of ischaemic heart-disease in London busmen. *Lancet* 1966; **2**: 553–559.
 - 17) Kraus WE, Houmard JA, Duscha BD, et al. Effects of the Amount and Intensity of Exercise on Plasma Lipoproteins. *N Engl J Med* 2002; **347**: 1483–1492.
 - 18) Whelton SP, Chin A, Xin X, et al. Effect of aerobic exercise on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Ann Intern Med* 2002; **136**: 493–503.
 - 19) Nystoriak MA, Bhatnagar A. Cardiovascular Effects and Benefits of Exercise. *Front Cardiovasc Med* 2018; **5**: 135.
 - 20) Haskell WL, Lee I-M, Pate RR, et al. American College of Sports Medicine, American Heart Association. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 2007; **116**: 1081–1093.
 - 21) Balady GJ, Williams MA, Ades PA, et al. Core components of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee, the Council on Clinical Cardiology; the Councils on Cardiovascular Nursing, Epidemiology and Prevention, and Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2007; **27**: 121–129.
 - 22) Hollings M, Mavros Y, Freeston J, et al. The effect of progressive resistance training on aerobic fitness and strength in adults with coronary heart disease: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Prev Cardiol* 2017; **24**: 1242–1259.
 - 23) 瀬在 明, 高山忠輝. 心不全パンデミックに向けての心不全地域連携における大学病院の役割. 日大医学雑誌 2020; **79**: 241–245.
 - 24) 日本循環器学会/日本心不全学会合同ガイドライン. 2021 年 JCS/JHFS ガイドライン フォーカスアップデート版 急性・慢性心不全診療. 2021; Available from: https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021_Tsutsui.pdf.
 - 25) 日本循環器学会/日本心臓リハビリテーション学会合同ガイドライン. 2021 年改訂版 心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン. 2021; Available from: https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021_Makita.pdf.
 - 26) Piepoli MF, Davos C, Francis DP, et al. Exercise training meta-analysis of trials in patients with chronic heart failure (ExTraMATCH). *BMJ* 2004; **328**: 189.
 - 27) O'Connor CM, Whellan DJ, Lee KL, et al. Efficacy and Safety of Exercise Training in Patients With Chronic Heart Failure: HF-ACTION Randomized Controlled Trial. *JAMA* 2009; **301**: 1439.
 - 28) Sagar VA, Davies EJ, Briscoe S, et al. Exercise-based rehabilitation for heart failure: systematic review and meta-analysis. *Open Heart* 2015; **2**: e000163.
 - 29) Rees K, Taylor RS, Singh S, et al. Exercise based rehabilitation for heart failure. *Cochrane Database Syst Rev* 2004; CD003331.
 - 30) Haykowsky MJ, Liang Y, Pechter D, et al. A meta-analysis of the effect of exercise training on left ventricular remodeling in heart failure patients: the benefit depends on the type of training performed. *J Am Coll Cardiol* 2007; **49**: 2329–2336.
 - 31) Pearson MJ, Smart NA. Exercise therapy and autonomic function in heart failure patients: a systematic review and meta-analysis. *Heart Fail Rev* 2018; **23**: 91–108.
 - 32) Pearson MJ, Smart NA. Effect of exercise training on endothelial function in heart failure patients: A systematic review meta-analysis. *Int J Cardiol* 2017; **231**: 234–243.
 - 33) Franklin BA. Cardiovascular Events Associated With Exercise: THE RISK-PROTECTION PARADOX. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2005; **25**: 189–195.
 - 34) Chappex N, Schlaepfer J, Fellmann F, et al. Sudden cardiac death among general population and sport related population in forensic experience. *J Forensic Leg Med* 2015; **35**: 62–68.
 - 35) Holst AG, Winkel BG, Theilade J, et al. Incidence and etiology of sports-related sudden cardiac death in Denmark—implications for preparticipation screening. *Heart Rhythm* 2010; **7**: 1365–1371.
 - 36) Pilmer CM, Kirsh JA, Hildebrandt D, et al. Sudden cardiac death in children and adolescents between 1 and 19 years of age. *Heart Rhythm* 2014; **11**: 239–245.
 - 37) Yanai O, Phillips ED, Hiss J. Sudden cardiac death during sport and recreational activities in Israel. *J Clin Forensic Med* 2000; **7**: 88–91.
 - 38) Quigley F. A survey of the causes of sudden death in sport in the Republic of Ireland. *Br J Sports Med*. 2000; **34**: 258–261.
 - 39) Maron BJ, Doerer JJ, Haas TS, et al. Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006. *Circulation* 2009; **119**: 1085–1092.
 - 40) Solberg EE, Gjertsen F, Haugstad E, et al. Sudden death in sports among young adults in Norway. *Eur J Cardiovasc Prev*

- Rehabil* 2010; **17**: 337–341.
- 41) Marijon E, Tafflet M, Celermajer DS, et al. Sports-related sudden death in the general population. *Circulation* 2011; **124**: 672–681.
 - 42) Margey R, Roy A, Tobin S, et al. Sudden cardiac death in 14- to 35-year olds in Ireland from 2005 to 2007: a retrospective registry. *Europace* 2011; **13**: 1411–1418.
 - 43) Bohm P, Scharhag J, Meyer T. Data from a nationwide registry on sports-related sudden cardiac deaths in Germany. *Eur J Prev Cardiol* 2016; **23**: 649–656.
 - 44) Harmon Kimberly G, Asif Irfan M, Maleszewski Joseph J, et al. Incidence, Cause, and Comparative Frequency of Sudden Cardiac Death in National Collegiate Athletic Association Athletes. *Circulation* 2015; **132**: 10–19.
 - 45) Kahali B, Roy DG, Batabyal S, et al. Study of sudden cardiac deaths in young athletes. *J Indian Med Assoc* 2002; **100**: 708–709.
 - 46) Corrado D, Basso C, Rizzoli G, et al. Does sports activity enhance the risk of sudden death in adolescents and young adults? *J Am Coll Cardiol* 2003; **42**: 1959–1963.
 - 47) de Noronha SV, Sharma S, Papadakis M, et al. Aetiology of sudden cardiac death in athletes in the United Kingdom: a pathological study. *Heart* 2009; **95**: 1409–1414.
 - 48) Mp S-M, B A, Rm M, et al. Pathology of sudden death during recreational sports in Spain. *Forensic Sci Int* 2013; **226**: 188–196.
 - 49) Egger F, Scharhag J, Kästner A, et al. FIFA Sudden Death Registry (FIFA-SDR): a prospective, observational study of sudden death in worldwide football from 2014 to 2018. *Br J Sports Med*. 2020;
 - 50) Izawa H, Yoshida T, Ikegame T, et al. Standard Cardiac Rehabilitation Program for Heart Failure. *Circ J* 2019; **83**: 2394–2398.