有酸素性運動において心拍数処方は推奨できるか？

田中 喜代次^{1*}, 吉村 隆喜²

Is heart rate recommended as an optimal intensity of aerobic exercise?

Kiyoji Tanaka^{1*} and Takayoshi Yoshimura²

¹筑波大学体育系, 〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1 (Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan)

²育和会記念病院, 〒544-0004 大阪府大阪市生野区巽北3-20-29 (Ikuwakai Memorial Hospital, 3-20-29 Tatsumikita, Iku-no-Ku, Osaka, Osaka 544-0004, Japan)

Received: March 5, 2020 / Accepted: March 16, 2020

Keywords : heart rate, target heart rate, aging, medication

はじめに

“有酸素性運動において心拍数処方は推奨できるか？”の問いに対しYes or Noの回答を求められると躊躇するが、二者択一ならNoと言ったほうが妥当であろう。その最大の理由は、最大運動時の心拍数（maximum heart rate: HRmax）が年齢（chronological age）のみに依拠して推定され、運動時の目標心拍数（target or training heart rate during exercise: HRe_x）はその推定値に一定の相対値（50%, 60%, 70%など）を掛けて一律的に割り出すからである（Fig. 1; 式（1））。1分間あたりの心臓の拍動数で表示することに決まっているHRmax（限界の予測値）やHRe_x（運動中の目標値）は、加齢に伴い1年で1拍ほど減少するという先人たちの経験値（face validity）に基づいている。しかし、HRmaxには個人差が大きく、通常は使用しないが、実測しないで求めたい場合、式（2）から真値に近い値が得られる。

最大心拍数算出における誤差（個人差）

予測HRmaxの算出には一般的にはFig. 1に示す「220-年齢」の式（1）が利用され、20歳なら必ず200拍/分、40歳なら180拍/分、60歳なら160拍/分となる。しかし、実測HRmaxを基準変数に、そして年齢を予測変数に据えて算出式を導くと式（2）のような幅（個人差）のある回帰（補正）係数a（Fig. 1）が得られ、実測値と推定値の大多数は一致しない。その理由など詳細については後述する。運動時の目標心拍数（HRe_x）は、式（3）または式（4）から算出される。それぞれの式から算出されたHRe_xが同じであれば、式（3）の補数係数よりも式（4）の補数係数が0.1~0.15ほど小さくなる。式

（4）ではHR_{rest}が考慮されるため、徐脈の人にも頻脈の人にも適用できるという特徴がある。

例えば、AさんとBさんの年齢がともに70歳で、20歳時の実測HRmaxがともに200拍だったとしよう。もしAさんの補正係数が0.8であれば、 $(220-70) \times 0.8 = 120$ 拍、Bさんの補正係数が1.2であれば、 $(220-70) \times 1.2 = 180$ 拍となる。50年後にAさんの実測HRmaxは80拍も減少しているが、Bさんにおいては実測HRmaxが20拍しか減少していないことになる。このように、年齢が等しい20歳の若者の場合でも、加齢に伴う減衰率（補正係数a）が異なると、年齢予測HRmaxと実測HRmaxには最大で約40拍もの差異が生まれる。稀ではあるが、70歳なら60拍もの大きな差異が生じてしまうことになる。なお、実測HRmaxの加齢に伴う減少は1年に0.8~0.9拍くらいの人が多い。この補正係数は常に一定ではなく、老化の進行に伴い、あるいは心臓機能の悪化などによって変動しているため、運動強度の確認にはHRe_xのチェックとともに、運動中の心電図（不整脈の有無や変化）を観察・記録することが望ましい。

最大心拍数算出における誤差（加齢による減少率）

20歳から70歳まで年をとれば、少なめに見積もって50（=70歳-20歳） $\times$ 0.8=40拍、多めに見積もって（70歳-20歳） $\times$ 1.2=60拍ほど減少することになる。20歳時の実測HRmaxが200拍なら、50年後の70歳時には140~160拍あたりの範囲に収まるケースが多いと言える。実測HRmaxの加齢に伴う低下率には個人差があり、1年あたり1拍の人も稀に見られるものの、0.8~0.9拍くらいの人が多いことは先に述べたが、その低下率が後期高齢期まで一貫して同じであるとも言えない。20~50歳にかけての低下率と50~80歳にかけての低下率にも個人差が生まれるだろう。

*Correspondence: tanaka.kiyoji.ft@u.tsukuba.ac.jp

予測HRmax = 220 - 年齢 (式1)

予測HRmax = (220 - 年齢) × 係数a (式2)

補正係数a: 0.9~1.1あたり (20歳台、30歳台)

補正係数a: 0.8~1.2あたり (60歳台、70歳台)

運動時の目標心拍数 = HRmax* × 係数b (式3)

トレーニング係数b: 0.50~0.95あたり (一般的には0.65~0.85あたり)

運動時の目標心拍数 = (HRmax* - 安静時心拍数) × 係数c + 安静時心拍数 (式4)

トレーニング係数c: 0.35~0.85あたり (一般的には0.50~0.75あたり)

*実測HRmaxがわからない場合、式1の予測HRmaxを用いる

Fig. 1 予測最大心拍数 (HRmax) や運動時の目標心拍数の算出式

20歳時の実測HRmaxの母集団平均値が男女とも仮に200拍くらいだとしても、個人差がかなり大きく、1標準偏差は7~12拍くらいである。仮に7拍とした場合、193~207拍の範囲に入る実測HRmaxが全体の約68.3%、3標準偏差だと21拍となり、179~221拍の範囲に99.7%が収まることになる。筆者らが8~92歳の男女を対象にして立ち会った最大運動負荷テストの件数は、45年間で3千件を超えているが、20歳台観測データの中の最小値は175拍 (23歳、心拡張を呈している長身の一流クロスカントリーランナー)、最大値は223拍 (21歳の卓球を趣味とする一般学生) であった。いずれもBMIが19~20くらいの痩身男性であったが、2人の実測HRmaxには48拍 (年齢に置き換えると48歳) もの個人差 (誤差) が認められる。なお、48拍程度の個人差は高齢の集団にも観られるものである。

ACSM (アメリカスポーツ医学会) による運動処方の方針によると、実測HRmaxにみられる個人間の変動 (1標準偏差) は10~12拍とされており、40歳なら約7割の人が168~192拍、60歳なら148~172拍ということになる¹⁾。高齢者における実測HRmaxの減少率に関するデータは不十分なため、詳細は不明であるが、患者であっても運動できる体力を有している場合、減少率は加齢に伴い小さくなるであろう。

心拍数処方が不正確である理由

“有酸素性運動において心拍数処方は推奨できるか?” という問いに対してNoだと回答した理由は、前述のように、①1分間あたりの実測HRmaxは加齢に伴い、1年の間に1拍の減少というよりも、小さいと0.6~0.8拍、大きいと1.0~1.2拍くらいの減少と思われること、②年齢が同じでも、実測HRmaxは40~50拍ほど異なり、集団に対する一律的な処方はやむを得ないとしても、個人への処方には大きな誤差が含まれることによる。

わかりやすい例を挙げよう。小学1年生から6年生の身長集団平均値は男女に関わらず学年とともに確実に高まるが、個人に目を向けると学年の低い児童が学年の高い児童よりも長身長であることは珍しくない。つまり、個人差を考慮せずに年齢から一律的に算出した予測HRmaxに一定の%値を乗じる心拍数処方では、身長に例えれば学年ごとに全員を同一の値と見なすことになるのである。計算式からの予測HRmaxと実測HRmaxが一致するケースは稀で、大多数の人では過大推定または過小推定することになる点が最大の誤差要因である。なお、心拍数は低身長の人で高く、高身長の人で低い傾向を示すが、この差異には心臓の大きさが影響しているものと思われる。低身長で大きめの心臓を、高身長で小さめの心臓を有する人もいるので、ここでも誤差が介在する。

最大心拍数と最高心拍数の使い分け

これら2つは紛らわしい表現で、区別しにくいですが、運動生理学の分野では一般的に最大 (maximum または maximal) と言い、臨床医学やリハビリテーション医学の分野では主に最高 (peak) と呼んでいる。後者はHRpeakと表現できる。実測HRmaxと実測HRpeakは一致するケースもあるが、実測HRmaxが200拍だとすると、実測HRpeakは170~190あたりとなる。筆者の一人が38歳の時に測定した実測HRmaxはトレッドミル上でのランニングで疲労困憊に至った際に212拍、自転車エルゴメータでの立ちこぎサイクリングで疲労困憊に至った時点で207拍であったが、循環器専門の医療機関で運動負荷テストを受けた際には180拍を超えた時点で“テスト終了”と告げられた。その時のRPE (自覚的運動強度) は17で、まだまだ走れる (心拍数はあと20~30拍あげられる) 余裕が残っていたことを鮮明に記憶している。この場合、研究論文では212拍が実測HRmaxとなり、182拍が実測HRpeakと表記される (Table 1)。実際に

は両方の数値を求めないことから、実測HRpeakは実測HRmaxの9割程度（心臓病や糖尿病の患者だと8割程度）と考えるのが賢明だろう。

最高心拍数が最大心拍数の9割程度で許容される理由

循環器疾患を有する人や極限までトレーニングするアスリートはもちろん、健常そうな人に対しても運動負荷試験の遂行が推奨される。これには、心血管イベント（心事故）の危険性が運動強度（高>中>低）とリスク因子（年齢、喫煙、肥満、高血圧、高血糖、家族歴など）の状態の関数として高まるという根拠に基づいている。患者や高齢者、運動不足の肥満者などにおいては、運動中の重篤な不整脈が出現しないか、血圧が異常反応を示さないか、胸痛などの違和感を訴えないかなどのスクリーニングが目的となるため、HRmaxを実測する必要性は高くなく、HRpeakの観察で十分であろう。この場合、どこまで運動を負荷するかが議論の的となるが、一般的に年齢予測のHRmaxの85%あたり（70~100%）と考えられる²⁾。

安静時心拍数の影響

もう一つ留意すべき点は安静時の心拍数（resting hear rate: HRrest）が低い人ほど、実測HRmaxや一定強度でのHReXも低くなる点である。読者もご存知のように、アスリートの中には洞性徐脈（60拍未満）の人が少なくないが、心臓疾患などを有する症例の中に、いわゆる徐脈性心不全と言われるような刺激伝導系異常所見があり、徐脈を呈するケースがあることに留意しなければならない。女性では激しい腹痛（生理痛）によって副交感神経活動が優位となり、徐脈を引き起こすケースもある。徐脈の反対を頻脈と言うが、交感神経活動が優位となる洞性頻脈（100拍以上）は、心不全、甲状腺機能亢進、肺疾患などを有する人や喫煙者、低BMIの痩身

者などに見られやすい。また、著しい精神的緊張や身体疼痛時、過度の興奮（ストレス）、発熱、アルコール摂取などによっても起こりうる。このように、基礎疾患の種類、体型、喫煙の有無など、さまざまな要因が複雑に絡み合っ実測HRmaxやHReXに影響を及ぼすのである。

ちなみに、体重が10~25 gのハツカネズミのHRrestは300拍くらいで興奮時（運動時）には600~700拍にまで上昇する³⁾。体重が29~45 kgのヒツジのHRrestは人間よりやや多くて80~110拍（小迫ら：広島大学1985）、体重が400~500 kgの競走馬のHRrestは25~35拍くらいで人間より少ないが、実測HRmaxは平均233拍にも達する（久保ら：競走馬総合研究所1984）。体重が3~7トン（3000~7000 kg）のアフリカゾウのHRrestは20拍くらい、体長20~35 mで体重50~200トンものシロナガスクジラではHRrestが1分間あたり2~3拍くらいらしい³⁾。

内服薬の影響

中高年齢になると、安静時の血圧や血糖値が高くなり、降圧薬や血糖降下薬などの薬剤を必要とするケースが増えてくる。内服薬の種類や量、組合せによって影響度は大きく異なるが、心拍数は一般的に下がるが多い。ベータ遮断剤のような交感神経遮断薬を服用して、その作用が顕著となる場合、安静時で15~20拍、強い運動時で20~30拍ほど抑えられる。降圧薬として処方頻度の高いCa拮抗剤の中のジルチアゼム（Rヘルベッサ）は心拍数を減少させるが、ジヒドロピリジン系の降圧剤（Rアダラート等）は血圧低下に伴う反射性心拍増加を起こすことが稀にあり、一様ではないことに留意したい。

抗精神病薬、抗うつ薬、抗不安薬、睡眠薬などの向精神薬を服用した場合にも、薬の種類や他の薬による影響もあって一概には言えないが、HRrestは10~15拍ほど

Table 1. 最大心拍数の予測値と実測値

年齢	予測HRmax	誤差	実測HRmax	
23歳	197拍	26拍	223拍（トレッドミル）	214拍（自転車エルゴメータ）
29歳	191拍	17拍	208拍（トレッドミル）	205拍（自転車エルゴメータ）
33歳	187拍	24拍	211拍（トレッドミル）	206拍（自転車エルゴメータ）
38歳	182拍	30拍	212拍（トレッドミル）	207拍（自転車エルゴメータ）
実測HRpeak 182拍（医療機関でのトレッドミル）				
50歳	170拍	35拍	205拍（トレッドミル）	194拍（ダンスゲーム中）

上昇するケース, 反対に抗不安薬によって低下傾向を示すケースが観られる. 運動時における内服薬の影響度については十分な観察データを持ち合わせていないが, 安静時と同程度の変化とみなして良いだろう. 24時間の総心拍数, 一生の総心拍数, 総心拍数に及ぼす内服薬の影響などについては, 次回に解説する予定である.

利益相反自己申告: 著者全員に開示すべき利益相反はない.

著者貢献

田中は教育講座全体の構成とロジックの展開を担当し, 草稿に着手した. 吉村はロジックの適切性を確認するとともに, 心拍数に影響を及ぼす内服薬の種類および記述内容全体を批判的にレビューし, 修正を求め, 投稿を承認した.

引用文献

- 1) American College of Sports Medicine: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 8th (または10th) edition, Lippincott Williams & Wilkins, 2010.
- 2) 田中喜代次ら (監訳). 運動生理学大事典, 西村書店, 東京, 2017.
- 3) 秋山俊雄: 安静時心拍数と予後の関係, *Jpn J Electrocariol* 31: 425-441, 2011.