

1 目的

心電計の操作に慣れると同時に、生体電位を扱う際の注意、環境について学ぶ。また、12誘導を記録し、波形の意味を理解する。運動による負荷をかけた際の心電図、心拍数の変動を観察する。

2 原理

2.1 心臓の構造と刺激伝導系

心臓は胸のほぼ中央に存在する。大血管が出入りする心底は後方を向き、下部先端の心尖は左前方に尖る。

心臓内部は4つの部屋からできており、右心房、右心室、左心房、左心室に分けられる。全身から戻ってきた不純物を多く含んだ静脈血は大静脈から右心房、右心室の順へ流れ込み、肺動脈に渡る。肺で酸素を取り込み動脈血となった血液は肺静脈から左心房、左心室の順へ流れ込み、左心室の強い収縮力を受け大動脈を介して全身へ送り出される。心室の入口と出口には弁があり、血液の逆流を防ぐ役割を担う。

また、心臓は心内膜、心筋層、心外膜、心嚢の4層の組織からなる心臓壁に覆われている。右心室より左心室の方が厚い。

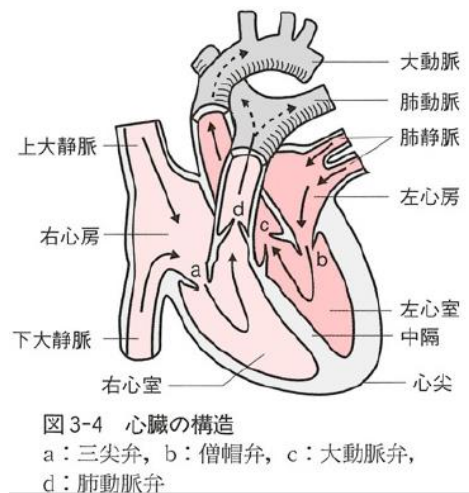


図 1. 心臓の構造 [1]

心臓の刺激伝導系に関する心臓の細胞には、収縮することでポンプとして働く心筋細胞である固有心筋と、心筋細胞を興奮させるための刺激を伝える刺激伝導系の細胞である特殊心筋がある。

刺激伝導系は以下の順で成り立っている。

- ①右心房にある特殊心筋の洞房結節が自律神経の作用を受け、規則正しいリズムで自発的に興奮する。
- ②興奮が固有心筋の心房筋へ伝わり、心房が収縮する。
- ③房室結節まで興奮が伝導する。
- ④ヒス束、左脚・右脚、プルキンエ線維と興奮が伝導する。房室結節からヒス束への活動電位の伝導速度は遅く、これが心房の収縮から心室の収縮までに見られる遅れの原因である。
- ⑤心室筋が興奮し、心室が心尖部から心房の方へ向かって収縮する。

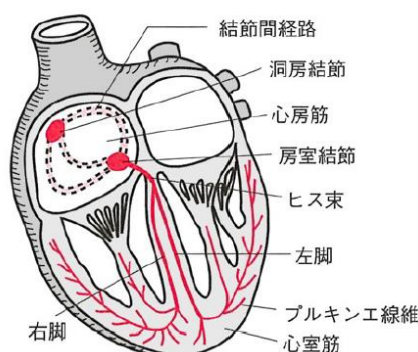


図 3-8 刺激伝導系

図 2. 心臓の刺激伝導系 [1]

2.2 標準 12 誘導

標準 12 誘導とは心電図の誘導法の一つである。四肢の 4 個と胸部の 6 個の電極を設置し、誘導選択器により 12 通りの組み合わせで導出する。

標準肢誘導(I, II, III)、増大単極肢誘導(aV_R , aV_L , aV_F)および単極胸部誘導(V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6)からなり、体表のある 2 点間の電位差を記録する。同時に 12 通りの導出を行う。

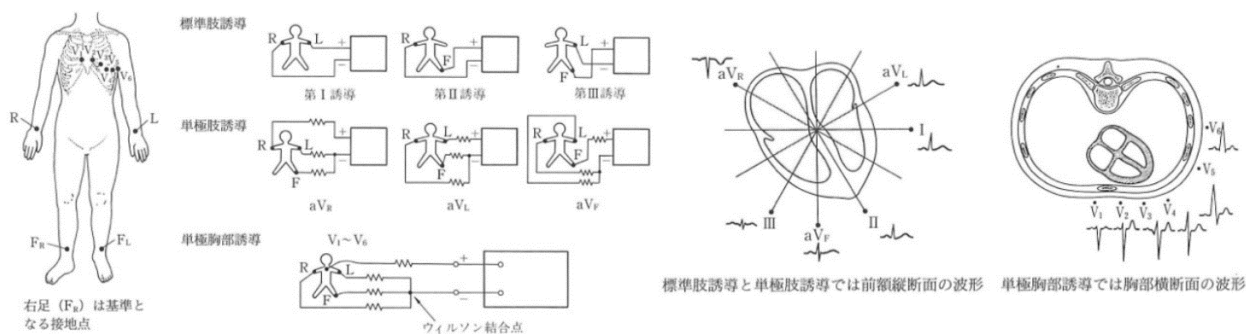


図 3. 標準 12 誘導 [1]

●標準肢誘導…心臓の電気の流れを垂直方向から見たもの。

第Ⅰ誘導：左手と右手の電位差（ $I = L - R$ ）：左室の側壁を見る誘導

第Ⅱ誘導：左足と右手の電位差（ $II = F - R$ ）：心臓を下から見る誘導

第Ⅲ誘導：左足と左手の電位差（ $III = F - L$ ）：右室側面と左室下壁を見る誘導

右手・左手・左足の付け根を結んでできる三角形を正三角形と見たものを、アイントローベンの三角形という。アイントローベンの三角形の重心には心臓がある。下図のように、誘導ベクトルはアイントローベンの三角形の各辺に相当する。

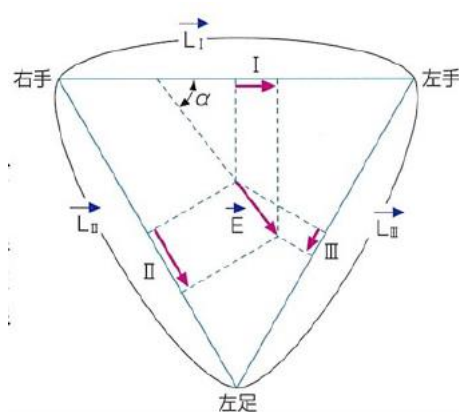


図 4. アイントローベンの三角形 [1]

●増大単極肢誘導…心臓の電気の流れを垂直方向から見たもの。

aV_R 誘導：右手の電位を左手、左足の結合電極を基準とし、右肩から心臓を見る誘導

aV_L 誘導：左手の電位を右手、左足の結合電極を基準とし、左肩から心臓を見る誘導

aV_F 誘導：左足の電位を右手、左手の結合電極を基準とし、心臓を真下から見る誘導

この誘導ベクトルはアイントローベンの三角形の頂点から、重心を通過して対辺に下した垂線に相当する。単極肢誘導の 1.5 倍の振幅になる。

●単極胸部誘導…前胸部の 6 箇所をウィルソンの結合電極を基準としてみたもの。

V_1 誘導：右室側から心臓を見る誘導

V_2 誘導：右室と左室前壁側から心臓を見る誘導

V_3 誘導：心室中隔と左室前壁から心臓を見る誘導

V_4 誘導：心室中隔と左室前壁方向を見る誘導

V_5 誘導：左室前壁と側壁を見る誘導

V_6 誘導：左室側壁を見る誘導

2.3 心電図

通常、心電図は図 5 のような波形を示す。

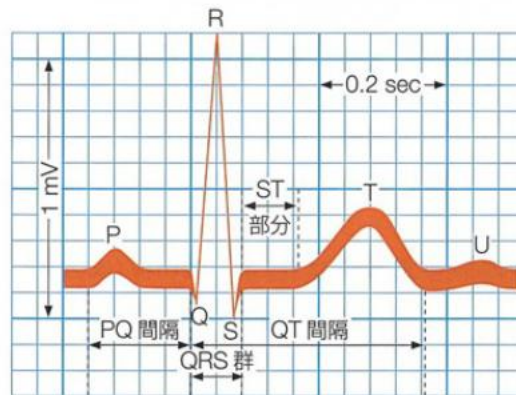


図 5. 正常な心電図 [1]

P 波は、心房筋の興奮に対応している。持続は 0.10 秒以内、振幅は 0.25mV 以下。

QRS 波は、心室筋の興奮に対応しており、下向きの Q、上向きの R、下向きの S からなる。持続は 0.10 秒以内、振幅は 1mV 以下。

T 波は、心室筋の再分極に対応している。持続は 0.10～0.25 秒以内、振幅は 0.5mV 以下。

3 実験操作

3.1 実験器具

- ・心電計
- ・自転車エルゴメーター

3.3 操作

3.3.1 標準 12 誘導心電図

- ①心電計本体を適切な場所に置き、電源及びアースを接続した。
- ②誘導コードを接続し、電源を入れた。
- ③被験者に四肢電極と胸部電極を装着した。なお装着の際にはすべての電極をアルコールで拭き、その部分に ECG クリームを塗った。電極の装着部は以下の図と表に示した。

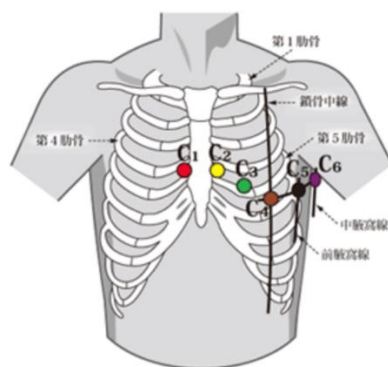


図 6. 胸部誘導 [2]

表 1. 四肢および胸部電極の位置、識別およびカラーコード

電極	装着場所	色	誘導
四肢	右手	赤	R
	左手	黄	L
	左足	緑	F
	右足	黒	N 又は RF
胸部	第 4 肋間の胸骨右縁	赤	C1
	第 4 肋間の胸骨左縁	黄	C2
	C2 と C4 を結ぶ線上の midpoint	緑	C3
	左鎖骨中線上と第 5 肋間の交点	茶	C4
	左前腋窩線上の C4 と同じ高さ	黒	C5
	左中腋窩線上の C4 と同じ高さ	紫	C6

④心電図を測定し、記録後電極を外した。

3.2.2 身体への負荷と心拍数の変動

- ①両鎖骨付近と肋骨の下部にあたる部分の皮膚に電極を貼った。
- ②適切にサドルの高さを調節した後、自転車エルゴメータ上で 1 分間安静に保った。最後の 10 秒間の心電図、心拍数を記録した。
- ③100W、150W の負荷で、それぞれ 2 分間ペダルを漕いだ。最後の 10 秒間の心電図、心拍数を記録した。
- ④運動後安静に 1 分間保った。最後の 10 秒間の心電図、心拍数を記録した。

4 実験結果

4.1 標準 12 誘導心電図

測定結果はレポート末尾に添付した。

また、第Ⅱ誘導の心電図を読み取り、以下の表にまとめた。

表 2. 第Ⅱ誘導の各波の電圧

波の種類	電圧 /mV
P 波	0.12
Q 波	-0.13
R 波	1.42
S 波	-0.6
T 波	4.5

表 3. 第Ⅱ誘導の各波の間隔時間

波の間隔	時間 /s
P-Q	0.196
Q-S	0.078
Q-T	0.380

各波形が示すものは、原理にて述べた。

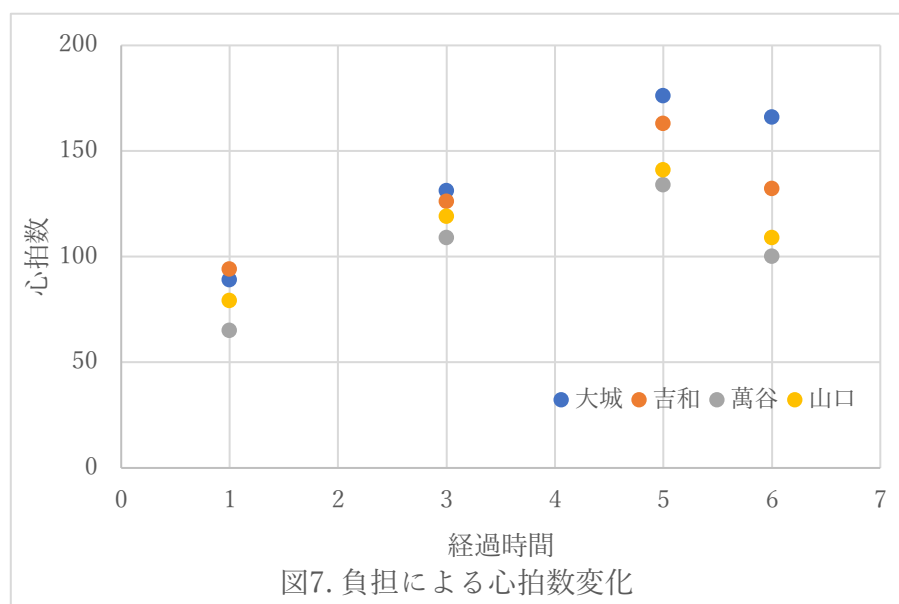
原理と実験結果に基づき、自分の心臓の起電力のベクトルをアイントーベンの三角形に書き込むと、次のようになった。

4.2 身体への負荷と心拍数の変動

実験結果はレポート末尾に添付した。

安静時は、図 5 に示したような、比較的綺麗な P 波、QRS 波、T 波がみられた。対して運動中は、細かい波が生じており、安静時に見られた QRS 波と T 波の間の緩やかな波が見られなかった。さらに、運動時は安静時に比べて、波の周期が短くなっていた。激しい運動になればなるほどその傾向が見られた。

また、私自身と班員の心拍数の変化をグラフに表した。



次に、実際に測定して得られた心拍数と、心電図の RR 間隔から求めた心拍数を比較した。

状態	心拍数の実測値	RR 間隔から求めた心拍数
安静時	79	70
運動時（軽め）	119	125
運動時（重め）	141	143
運動後の安静時	109	107

これをみると、心拍数が少ないときに、実測値と RR 間隔から求めた心拍数とで差が大きいことが見て取れるが、ほぼ一致した。

5 考察

5.1 心電図の波形から診断できる病気

●房室ブロック

原理 2.1 で触れた房室結節というのは、心房にある司令塔から出た電気信号を心室に伝える働きがある。この房室結節で連絡が何らかの異常で途絶えてしまうと、心房は動いているが心室の脈がなくなってしまう。これが房室ブロックである。心室が止まってしまうと血液を心臓から送り出すことができなくなり、心臓全体が止まっていることと同じになる。

房室ブロックには、重症度が3段階（Ⅰ度からⅢ度）ある。「Ⅰ度房室ブロック」では房室結節での連絡は遅れているが完全に途絶えることはなく、心室の脈は減少しない。

「Ⅱ度房室ブロック」では房室結節での連絡が一部途絶え、心室の脈が抜けることがある。「Ⅲ度房室ブロック」は「完全房室ブロック」とも言われ、房室結節での連絡が完全に途絶えている状態である。このままでは心臓が完全に停止し死に至りますが、本来の脈の出どころではない心室から自発的に脈が生じて（補充調律）、心停止を免れることもある。

●洞不全症候群

原理 2.1 で触れた洞結節というのは、心臓を脈打ち、拍動させるおおもとの電気信号の発信元である。これが働かず、脈が出なくなってしまう病気が洞不全症候群である。運動していないとき、通常的心拍数は1分間に50回から80回くらいだが、これが遅くなったり、数秒以上脈が止まってしまったりしてしまう。

以上の病気を抱えていると、心電図の一部の波に、不自然な遅れやノイズのような細かい微波が入ることがある。自分の心電図にはそのような異常は見られなかった。

5.2 運動強度と心拍数との関係

図 7 をみると、運動時には皆安静時より心拍数が上昇し、それは運動量が増えるときより大きくなった。その増加量には個人差があった。また、運動後の安静時には心拍数は減少したが、これにも個人差があった。運動をすればするほど酸素を消費するので心拍数は増加し、安静であればその必要はないので、心拍数が減少するというを確認できた。

その心拍数の増加や減少に個人差が生じた要因は、普段より自転車を利用していたかにあると考える。萬谷さんと私(山口)は、毎日最寄駅まで自転車を利用していたのに対し、吉

和さんと大城さんは一切そのようなことはなく、運動をする習慣もないと聞いた。自転車という小さな運動ではあるが、普段から運動を行っていると体がそれに適応できるように変化していくので、心拍数の増加・減少が緩やかになる。対して、普段より運動を行っていない状態で急に運動をすると、体にかかる負荷が大きくなり、心拍数の増加が急になり、それがなかなか下がらなくなってしまうのだと考えた。

6 引用・参考文献

- [1] 専門科目 『生体計測工学』の講義資料
- [2] 電極装着のポイント ― 日本光電工業株式会社
URL : <https://www.nihonkohden.co.jp/iryo/point/12lead/point.html>
- [3] 正常心電図 心拍数を測ろう ― 看護 roo!
URL : <https://www.kango-roo.com/sn/k/view/2173>
- [4] 房室ブロック ― 独立行政法人 国立病院機構 大阪医療センター 循環器内科
URL : http://www.onh.go.jp/cvm/html/sickness/ca/ba/ba_01.html

【測定結果】