دکتر پزشکیان ✲

چند نکته راجع بفرضیه وکتوری**

پایه فرضیه وکتوری عبارت ازاینستکه هراختلاف پتانسیلی راکه درعضله‌قلب‌بوجود می‌آید میتوان بصورت وکتوری نمایش داد بطوریکه نوك وکتور متوجه نقاط مثبت وته آن بطرف نقاط منفی باشد. اثری‌که این وکتور در اشتقاقهای مختلف میگذارد متناسب است با Cos زاویه‌ای که وکتور باخط اشتقاق تولید میکندزیرا چنانکه‌درشکل یک می‌بینیم‌وکتورM را میتوانیم بدو وکتور M_1 و M_2 تقسیم کنیم. وکتور M_2 هیچگونه اختلاف پتانسیلی در نقاط A و B یعنی محل‌اتصال الکترودها تولید نمیکند وتنها وکتور M_1 است که‌سبب‌میشود نقطه A نسبت به B مثبت شود و M_1 همان $M \cos\theta$ یعنی تصویر وکتورM برروی خط اشتقاق است.

دراختلاف سطح بین A و B دوعامل دیگر نیزدخالت دارندکه یکی فاصله بین این دونقطه است‌که هرچه‌کوتاه‌تر باشد اختلاف سطح آنها نیزکمترمیشود و هرچه این فاصله بلندتر باشد اختلاف سطح بیشترخواهد شد. عامل دیگر فاصله نقاط A و B از وکتور است بطوریکه اختلاف‌پتانسیل بین A و B بامکعب این فاصله نسبت معکوس دارد لذا اگرفاصله بین دونقطه را d فرض‌کنیم وفاصله آنها را از وکتور r بگیریم میتوان نوشت:

$$1)\quad VA - VB = \frac{M \cos 0 d}{r^3}$$

این فرضیه پایه الکتروکاردیوگرافی و وکتوکاردیوگرافی را تشکیل میدهد و بطور خلاصه میتوان گفت هراختلاف پتانسیلی راکه درهرلحظه درقلب بوجودآیدبصورت‌وکتوری نمایش میدهیم وتصویرآن برروی خط اشتقاق اندازه ولتاژ هراشتقاق را بمانشان خواهدداد. ولی چون طول وجهت این وکتورها درلحظه‌های مختلف فعالیت قلب تغییر می‌یابد لذا نوك این وکتورها منحنی رسم میکندکه آنرا وکتوکاردیوگرم نامند وتصویر محیط این منحنی برروی سه‌خط اشتقاق شکل اشتقاقهای D_1 و D_2 و D_3 را مشخص میکند.

استفاده از رابطه (۱) درالکتروکاردیوگرافی و وکتوکاردیوگرافی‌ازنظرریاضی‌وفیزیکی اشکالاتی داردکه بررسی آنها موضوع بحث امروزما است.

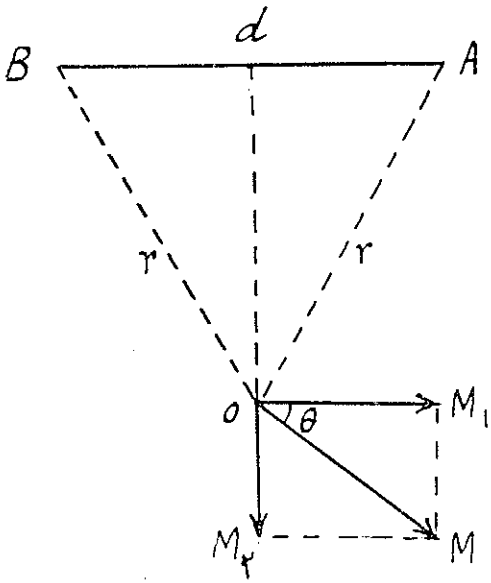
✲ ـ استاد دانشکده پزشکی

✲✲ ـ این‌مقاله بصورت‌کنفرانس درآزمایشگاه فیزیولوژی ایراد شده است

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-04]

۱ـفاصله‌الکترودهاازقلب ـ طبق نظراینتوون موقعی میتوان تغییرات‌الکتریکی را بصورت دیپول یاوکتوری نمایش داد که الکترودها دورازقلب قرارگرفته‌باشند واگرالکترود بازرس بقلب نزدیک باشد فقط ناحیه محدودی را میتوان بررسی کرد . (Potentiel local) خوشبختانه آزمایشهای متعدد نشان داده‌اند که این موضوع موقعی اهمیت پیدا میکند که الکترود روی قلب قرارگرفته باشد ویا فوق‌العاده به‌آن نزدیک باشد لذا میتوان گفت که در اشتقاقهای اعضا وحتی دراشتقاقهای جلو قلبی وضع وکتورها وفاصله آنها باالکترود طوریست که میتوان ازفرضیه وکتوری استفاده نمود .

۲ـتساوی‌فاصله‌الکترودهاـ درمحاسبه‌اثرالکتریکی‌دیپول‌موقعی میتوان‌فرمول(۱) را بکاربرد که فاصله دیپول ازدوالکترود A و B یک اندازه باشد بطوریکه اگرنقطهOنزدیک الکترود A قرار بگیرد دیگر تصویر وکتورOM_2برخط اشتقاق‌صفرنخواهد بود بلکه یک مقدارمنفی خواهدشد زیرا دراین وضع اثردوانتهای‌وکتور یعنی مثبت ومنفی‌آن برنقطه B که دورقرارگرفته تقریباً یکسان است درصورتیکه‌انتهای‌منفی‌آن که‌نزدیک نقطه A قرار میگیرد دراین الکترود پتانسیل منفی‌ایجاد میکندوبالنتیجه تصویر OM_2 بر اشتقاق AB منفی میشود .(شکل ۲)وکتورM_1بالعکس اگر به‌نقطه A نزدیک شودپتانسیل بیشتری دراین الکترودایجادخواهد کرد . بعبارت دیگر در روی خط اشتقاق تصویر بلندتری خواهد داشت لذا دراین حالت اثر وکتور M دراشتقاق یک‌متناسب با M Cos θ نخواهد بود .

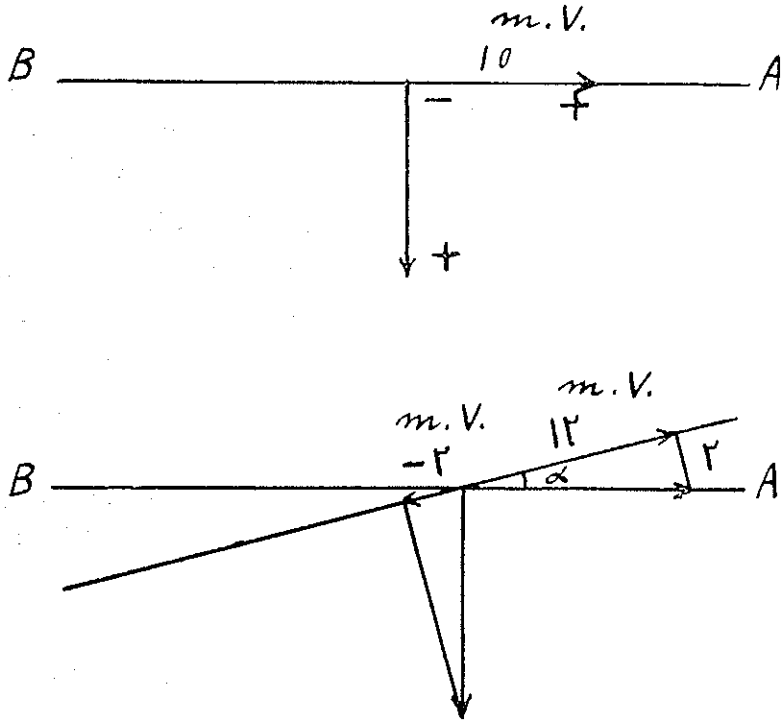


شکل ۱

برای آزمایش میتوان دیپولی بطور مصنوعی روی سینهٔ شخص ایجاد کرد ویابهترقالبی شبیه قفسهٔ سینهٔ‌انسان‌ساخت وداخل‌آنرا باسرم‌فیزیولوژیک پرکردودیپول‌متحرکی را درون‌آن قرارداد واثرات آنرا در D_1 ثبت نمود . یک مرتبه این دیپول را در وسط قفسهٔ سینه بطورقائم قرارمیدهیم وملاحظه میکنیم هیچ نوع اثری در اشتقاق D_1 ندارد ولی موقعیکه آنرا بطور

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-04]

افقی قرارمیدهیم گالوانمتر اختلاف سطحی نشان میدهد که فرض میکنیم ۰٫۱ میلی ولت باشد (شکل ۲-A)حال اگرمحل دیپول را تغییرداده وآنرا درناحیهٔ قلب قراردهیم بطوریکه فاصلهٔ آن ازدوالکترود متفاوت باشد مشاهده میشود که اگردیپول قائم‌باشد ۲- میلی‌ولت‌ومتوقعیکه افقی است ۱۲+ میلی ولت جریان تولید میکند بطوریکه ازلحاظ الکتریکی بنظرمیرسد خط اشتقاق D_1 دیگرافقی نیست(شکل ۲- B)زیرا یک وکتور قائم روی آن تصویردارد زاویهٔ‌این انحراف‌را چنانکه درشکل مشاهده میشود میتوان محاسبه کرد زیرا : $tg\alpha = \frac{۲}{۱۲} = \frac{۱}{۶}$ لذا این زاویه درحدود ۱۰° است.



شکل ۲

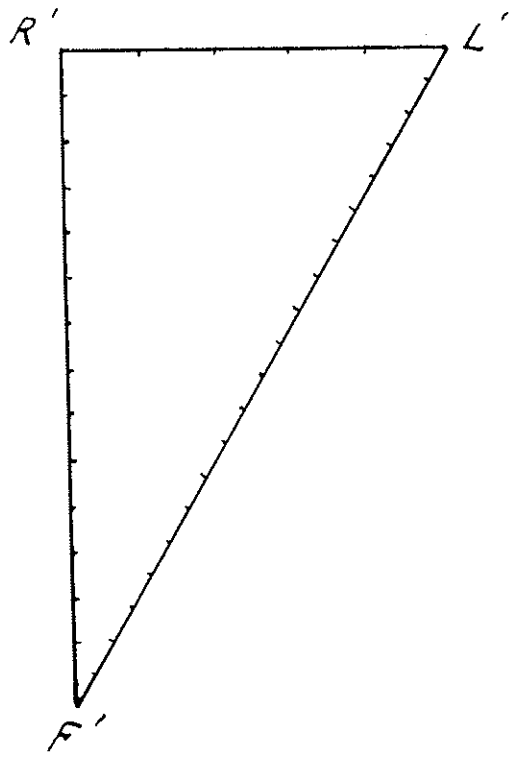
بهمین جهت درطرقی که برای رسم وکتوکاردیوگرام از اشتقاق D_1 استفاده میکنند بعلت آنکه قلب دروسط قفسهٔ سینه قرارنگرفته است منحنی تغییرشکل پیدا میکند . ویلسون باقرار دادن دیپول مصنوعی درجلوقلب وتغییرجهت آن نشان داده که این اختلاف اغلب قابل توجه است:

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-04]

جهت حقیقی وکتور	جهت ثبت شده	اختلاف
۰°	-۱۲°	۱۲°
۳۰	٤۳	۱۳
٦۰	۸٦	۲٦
۹۰	۱۰۸	۱۸

چنانکه مشاهده میشود اگر دیپول را در ۶۰° قرار دهیم الکتروکاردیوگرم آنرا در ۸۶° نشان خواهد داد یعنی خطای ما درحدود ۲۶ درجه است.

برای بدست آوردن جهت صحیح خطوط اشتقاقها وکتور داخل قالب را طوری قرار میدهیم که تصویرآن دراشتقاق مورد نظر ما کزیمم باشد دراینصورت وکتورما باخط اشتقاق موازیست زیرا دراین وضع زاویه 0 صفرشده وCosآن مساوی یک میگردد بالنتیجه M Cos0d بحداکثرطول خود میرسد. ازطرف دیگرچون وکتور M برای تمام اشتقاقها ثابت فرض شده لذا d یعنی طول خط اشتقاق متناسب باارتفاع منحنی است که درآن اشتقاق ثبت میشود پس بدین ترتیب جهت اشتقاقها ونسبت آنها را بیکدیگر میتوان بدست آورد واز این رو مثلثی میتوان رسم کرد که آنرا مثلث بورگر (Burger) نامند (شکل ۳)، رئوس این مثلث عبارتند از R' که در پائین و جلو راس R مثلث انتوون قراردارد وراس L' در بالا و عقب L و راس F' درطرف راست F واقعست. بطوریکه مشاهده میشود طول اشتقاق D_2 و D_3 خیلی بیش از طول اشتقاق D_1



شکل ۳

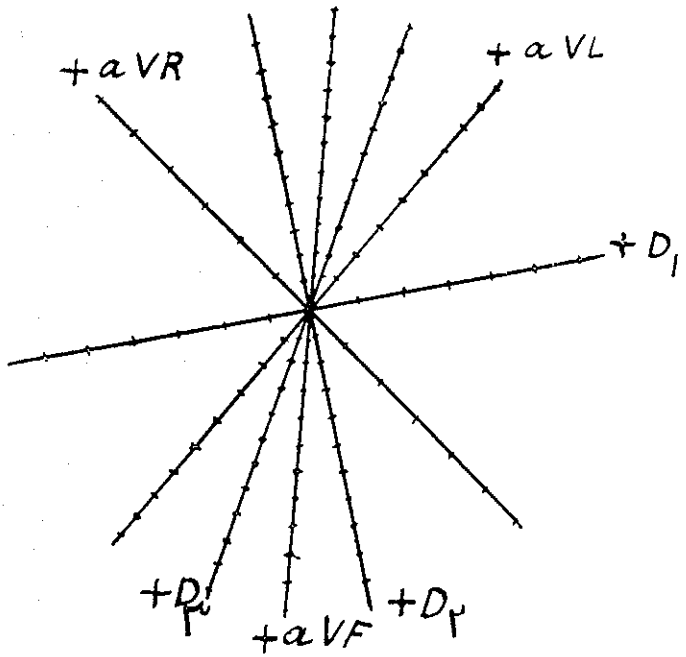
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-04]

است لذا طول وکتورهای قلب در این دو اشتقاق خیلی بلند تراز D_1 ثبت میگردد وبالنتیجه محورالکتریکی قلب همیشه عمودی تراز آنچه هست بنظر میرسد . درحقیقت اگر بخواهیم طول وکتورها را بایکدیگر مقایسه کنیم لازم است طول هر اشتقاقی را در ضریب مخصوص ضرب کرد .

اگرضریب اشتقاق D_1 را یک فرض کنیم ضریب سایر اشتقاقها طبق محاسبهٔ لانگنر (Langner) چنین بدست آمده است .

D_1	۱	aVR_1	۱/۱
D_2	۰/۶	aVL	۰/۸
D_3	۰/۵	aVF	۰/۶

چنانکه مشاهده میشود چون درمثلث بورگر خط اشتقاق D_2 دوبرابر خط اشتقاق D_1 است لذا ضریب D_2 ۰/۵ میباشد بعبارت دیگر برای نمایش وکتور در D_2 باید طول آنرا نصف کنیم تانسبت آن با D_1 تصحیح شود (شکل ٤) .

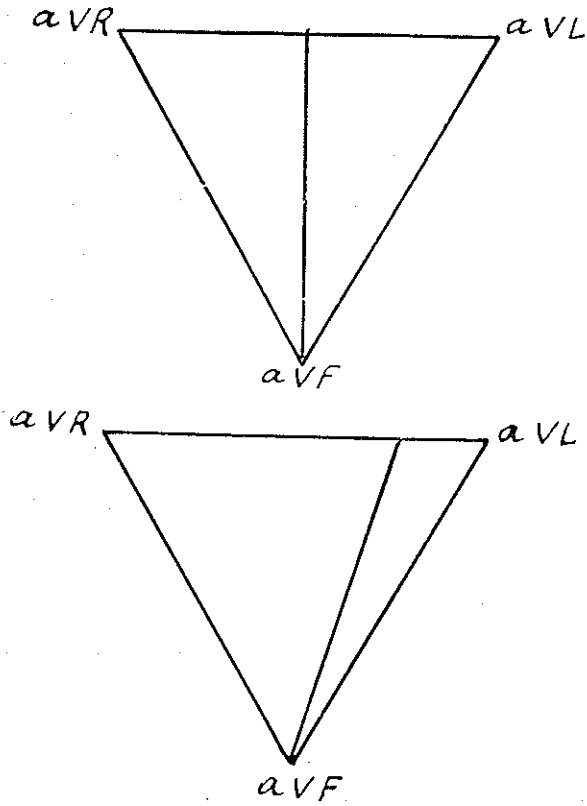


شکل ٤

نتیجهٔ دیگری که میتوان ازمطالب بالا گرفت اینستکه دراشخاصی که سینهٔ پهن دارند

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-04]

اشتقاق D_1 بلندتر ودراشخاص باریک اندام ارتفاع آن کمتراست زیرافاصلهٔ d دراشخاص باریک اندام کوتاه‌تراز اشخاص سینه پهن است وچنانکه میدانیم این تغییرات سبب میشود که محورالکتریکی افقی ویا قائم شود لذاجهت محورالکتریکی نمیتواند وضع قلب را درقفسهٔ سینه مشخص کند.



شکل ۵

همچنین مشاهده میکنیم که اختلاف پتانسیل بین A و B با فاصلهٔ این نقاط ازوکتور نسبت معکوس دارد لذا اگرقلب قدری پائین‌تر قرار بگیرداشتقاق D_1 کوتاه شده وبازهم بنظر میرسد وضع قلب قائم شده است.

۳ـ مقاومت بدن انسان ـ چنانکه میدانیم موقعی می‌توان تغییرات الکتریکی قلب را بصورت وکتور نشان داد که قلب درمحیط متجانس قرارگرفته باشد بعبارت دیگر مقاومت انساج اطراف قلب یکسان باشد درغیراینصورت یکنواختی میدان الکتریکی زائل شده‌وبمنحنی تغییرشکل می‌یابد.

اندازه گیری مقاومت انساج بدن بطورکلی بسیارمشکل است‌وتابحال برای اینکارطریقهٔ

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-04]

دقیقی پیدا نشده زیرا ازیک طرف مقاومت یک نسج برحسب شرایط فیزیولوژی آن متغیراست وازطرف دیگرنوع جریانی که ازآن عبورمیکند نیزدخالت دارد وبرحسب آنکه جریان مستقیم ویامتناوب باشد ویاتغییرات دیگری درآن تولید کنیم قابلیت هدایت نسج تغییرمیکند.

بهمین جهت برای آنکه تغییرات مقاومت اعضاء باعث تغییرشکل منحنی های یک قطبی نشود وبلسون مقاومتهای . . . ه اهمی درمدار هریک ازآنها قرار داده است زیرا اگر فرض کنیم مقاومت دست راست وچپ بایکدیگر برابر باشند اشتقاق aVF کاملا در وسط قاعدهٔ فوقانی قرارمیگیرد ولی اگرمقاومت دست راست بیشترباشد aVF بدست چپ نزدیک میگردد بطوریکه اگرسیم دست راست را قطع کنیم و مقاومت آن بی‌نهایت شود aVF مساوی D_{II} خواهد شد (شکل ه) بهمین جهت بابکاربردن مقاومتهای . . . ه اهمی تا اندازه‌ای اثر این تغییرات خنثی میشود.

دراینجا میتوان گفت شاید اگرمقاومتهای بزرگتری بکاربریم دقت منحنی بیشتر میشود ولی متأسفانه مقاومتهای بزرگترسبب تولید پارازیت وظاهرشدن نوسانات جریان شهرمیگردد.

ازمطالب بالا نتیجه میگیریم که مثلث متساوی‌الاضلاع اینتوون برای نمایش وکتورها صحیح نیست وهرشخص برحسب وضع قلب در داخل قفسهٔ سینه ومقاومت بافتهای اطراف آن ازنظرالکتریکی دارای مثلثی مخصوص بخود میباشد که آنرا مثلث بورگرمینامند همچنین میتوان گفت که پتانسیل قطب بی‌تفاوت ویلسون نیزصفر نیست مگرآنکه دست‌ها وپای چپ را بمقاومتهای متفاوت ومحاسبه شده‌ای وصل کنیم تامقاومت هرسه‌عضونسبت‌بقلب بایکدیگر برابرشود.

درپایان‌جلسه، مختصری راجع به متدگریشمن در وکتوکاردیوگرافی و چند ساکت وکتوکاردیوگرم که توسط دکترپزشکیان ساخته شده بود توضیحاتی داده شد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-12-04]