

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in INGEGNERIA BIOMEDICA

STUDIO DELLA DIPENDENZA DELLA FREQUENZA CARDIACA MATERNA DALL'ETA GESTAZIONALE TRAMITE L'ANALISI AUTOMATICA DELL' ELETTROCARDIOGRAMMA ADDOMINALE

STUDY OF THE DEPENDENCY OF THE MATERNAL HEART RATE ON THE GESTATIONAL AGE BY THE AUTOMATIC ANALYSIS OF THE ABDOMINAL ELECTROCARDIOGRAM

Relatore:
Prof.ssa Agnese Sbrollini
Correlatore:
Prof.ssa Laura Burattini

Tesi di laurea di: Giorgia Fiucci

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

INTRODUZIONE 7

1.LA GRAVIDANZA 9

1.1 Età gestazionale 9

1.1.1 Metodi di stima ed usi dell'età gestazionale 9

1.1.2 Cenni sui vari stadi dello sviluppo embrionale 11

1.2 Cambiamenti fisici e psicologici che caratterizzano la gravidanza 14

1.2.1 Influenza dell'esercizio fisico prenatale 14

1.2.2 Analisi dell'impedenza bioelettrica 14

1.2.3 Importanza del benessere psicologico materno 17

1.3 Fattori di rischio e disturbi materni 18

1.3.1 Diabete gestazionale 18

1.3.2 Preeclampsia 19

2.ELETTROCARDIOGRAMMA 21

2.1 Il cuore 21

2.1.1 Anatomia del cuore adulto 21

2.1.2 Propagazione dello stimolo elettrico 23

2.1.3 L'apparato di conduzione 26

2.1.4 Ciclo cardiaco 27

2.2 Il segnale elettrocardiografico 29

2.2.1 Strumenti per l'identificazione del segnale 30

2.2.2 Morfologia del segnale 30

2.2.3 Registrazione del segnale 32

2.2.4 Il triangolo di Eithoven 35

3.CAMBIAMENTI ELETTROCARDIOGRAFICI MATERNI DURANTE LA GRAVIDANZA 36

3.1 Cambiamenti fisiologici in gravidanza 36

3.1.1 Cambiamenti cardiaci 37

3.2 Variazioni dei parametri elettrocardiografici in gravidanza 38

3.2.1 Focus sui cambiamenti tra il primo e il terzo trimestre 39

3.2.2. Tipologie di aritmie durante la gravidanza 42

3.1.3 Diagnosi e trattamento 45

4. ANALISI DELLA FREQUENZA CARDIACA MATERNA IN RELAZIONE ALL'ETA' GESTAZIONALE 45

4.1 Database 46

4.2 Analisi 46

4.3 Risultati 47

4.4 Discussione 50

CONCLUSIONE 51

BIBLIOGRAFIA 52

ABSTRACT

La gravidanza, articolata in tre trimestri, è il percorso durante il quale un ovulo fertilizzato si sviluppa e cresce all'interno dell'utero materno.

La precisa valutazione dell'età gestazionale riveste un ruolo di rilievo nella ricerca sulla salute neonatale e nelle decisioni cliniche in merito al momento ottimale per il parto. Questo calcolo è cruciale anche per determinare se il feto è cresciuto in modo adeguato per la sua età gestazionale e per identificare i fattori di rischio legati a nascite premature, permettendo così di mettere in atto interventi preventivi.

Nel corso della gestazione, il corpo femminile è sottoposto a un profondo processo di cambiamento, caratterizzato da alterazioni biologiche, chimiche, ormonali e anatomiche. Queste modifiche possono aumentare la suscettibilità della donna incinta, sia dal punto di vista fisico che psicologico e richiedono un'analisi dettagliata al fine di prevenire potenziali rischi per la salute della madre, come la preeclampsia e il diabete gestazionale.

Pertanto, è fondamentale un monitoraggio accurato e costante durante tutto il periodo di gravidanza.

Inoltre, di buona norma, è consigliabile introdurre un programma di esercizio fisico, soprattutto nel primo periodo, al fine di promuovere il benessere generale e affrontare in modo più sano le sfide fisiche e psicologiche della gravidanza.

Un metodo per valutare il rischio di sviluppare tali disturbi durante la gravidanza è l'analisi dell'impedenza bioelettrica (BIA), un esame che viene utilizzato per valutare la composizione corporea e lo stato di idratazione della donna.

Per monitorare il battito cardiaco materno può risultare efficace effettuare costanti acquisizioni del segnale elettrocardiografico (ECG) materno, attraverso la disposizione degli elettrodi in specifiche configurazioni. Un elettrocardiogramma, noto anche come ECG, costituisce una procedura diagnostica non invasiva adoperata per registrare l'attività elettrica del cuore. Questo test offre informazioni cruciali sulla salute cardiaca, permettendo ai professionisti medici di valutare il ritmo cardiaco, individuare irregolarità e formulare diagnosi relative a patologie cardiache, quali aritmie, infarti miocardici e altre condizioni cardiache.

Le modifiche nel sistema cardiovascolare che avvengono durante la gravidanza sono rilevanti e cominciano sin dalle fasi iniziali del concepimento. Queste trasformazioni

comportano variazioni nei parametri elettrocardiografici, che rappresentano un prezioso indicatore della salute cardiaca in questa fase critica. È di cruciale importanza distinguere tra tali modifiche fisiologiche naturali e le manifestazioni patologiche, al fine di garantire una gestione clinica accurata e adeguata durante la gravidanza.

Per eseguire un'analisi maggiormente dettagliata, dal segnale elettrocardiografico è possibile estrarre gli intervalli temporali tra battiti successivi, rappresentati dai picchi R del complesso QRS del segnale ECG, e arrivare al calcolo della frequenza cardiaca materna.

Attraverso l'analisi svolta, è stato possibile esaminare l'andamento della frequenza cardiaca durante le 40 settimane di gravidanza, utilizzando l'acquisizione settimanale dell'elettrocardiogramma eseguito su una donna in stato di gravidanza. Questo approccio ha fornito la possibilità di monitorare in modo accurato l'evoluzione della frequenza cardiaca materna in relazione all'età gestazionale.

In particolare, si evidenzia un aumento della frequenza cardiaca materna, dell'ordine di 10-20 battiti al minuto, che contribuisce al necessario incremento del flusso sanguigno.

In conclusione, possiamo affermare che l'impiego dell'analisi automatica dell'elettrocardiogramma addominale per il calcolo della frequenza cardiaca, mediante il metodo di Pan-Tompkins, rappresenta un approccio affidabile, non invasivo e altamente efficace per la costante sorveglianza del ritmo cardiaco materno e la tempestiva identificazione di possibili anomalie, contribuendo in modo significativo alla tutela della salute della gestante.

INTRODUZIONE

La gravidanza (detta anche gestazione) è la condizione della donna nel periodo che va dall'inizio del concepimento al parto, e la durata stessa di tale periodo. La durata media della gravidanza fisiologica è intorno ai 270 giorni, con molteplici variazioni [1]. La maternità è uno degli eventi più importanti nella vita di una donna ed è spesso considerata un periodo di eccitazione, attesa e cambiamento.

I molteplici cambiamenti che coinvolgono la donna riguardano il suo aspetto fisico, psicologico, e influiscono anche su vari aspetti ormonali e biochimici, con un impatto significativo sulla sua qualità di vita. Tra le patologie e i disturbi che possono sorgere troviamo l'aumento della pressione arteriosa, la preeclampsia e il diabete gestazionale.

Alla luce di ciò, un monitoraggio adeguato e costante risulta fondamentale, così come la formazione delle donne nel loro nuovo ruolo, tramite l'assistenza di un team integrato di professionisti sanitari prima, dopo e durante la gravidanza [2].

L'acquisizione del segnale elettrocardiografico materno, ovvero la registrazione dell'attività elettrica del cuore per mezzo di elettrodi posizionati sulla pelle dell'addome, permette di monitorare e valutare la variabilità del ritmo cardiaco. I cambiamenti fisiologici che si verificano nel periodo della gestazione includono variazioni nei parametri elettrocardiografici che possono offrire preziose informazioni sulla salute cardiaca durante questa fase cruciale. Questa ricerca si focalizzerà sull'importanza del monitoraggio cardiaco materno come strumento cruciale per la gestione della gravidanza e sulla rilevanza di variabili elettrocardiografiche specifiche quali la frequenza cardiaca, l'intervallo QT e le onde P. Si analizza, inoltre, come queste misurazioni possano riflettere i cambiamenti fisiologici che avvengono nel corpo della madre durante la gravidanza e quali sono invece i casi i casi in cui è necessaria un ulteriore analisi, in modo da evidenziare tempestivamente possibili problematiche.

La frequenza cardiaca materna dovrebbe mantenere un range medio compreso tra 60 e 100 battiti al minuto a riposo. Tuttavia, è importante sottolineare che tale valore può manifestare un incremento lieve rispetto al range di valori standard, specialmente nei primi trimestri.

Nel corso della gestazione, infatti, il sistema cardiocircolatorio subisce delle modifiche naturali al fine di garantire un adeguato apporto di ossigeno e sostanze nutritive al feto in crescita.

Lo scopo dello studio è andare ad analizzare la correlazione tra il battito cardiaco materno e il numero di settimane di gravidanza, tramite l'analisi automatica dell'elettrocardiogramma addominale eseguito ogni sette giorni per un totale di quaranta settimane. In particolare, si va ad osservare come varia la frequenza cardiaca del battito materno nell'arco dei nove mesi di gestazione.

1.LA GRAVIDANZA

1.1 Età gestazionale

La gestazione umana (gravidanza) inizia con in concepimento (fecondazione) e termina con il parto. Essa dura circa 266 giorni (38 settimane) [3]. L'età concettuale è il tempo trascorso dal concepimento ed è solitamente datata dall'ultima mestruazione mancata. L'età gestazionale, che rappresenta lo standard clinico, è pari all'età concettuale più due settimane e si basa su una media di ovulazione al 14° giorno di un ciclo regolare di 28 giorni. Il termine è di 40 settimane, con un intervallo clinicamente accettabile di 37-42 settimane [4].

1.1.1 Metodi di stima ed usi dell'età gestazionale

La stima accurata dell'età gestazionale è molto importante per la ricerca sulla salute perinatale e per le decisioni di assistenza clinica del neonato, incluse le scelte riguardo il momento del parto. Inoltre, la determinazione di tale tempo permette di stabilire se un feto è medio, grande o piccolo per quell'età e di identificare le cause e i fattori di rischio per la nascita pretermine, in maniera tale da stabilire gli interventi che possono prevenire tali circostanze.

L'età gestazionale è fortemente correlata con molti processi di sviluppo e metabolici ed è un forte predittore dell'esito neonatale. Diversi studi hanno evidenziato cambiamenti nei profili metabolici degli aminoacidi e degli acidi grassi presenti nel sangue materno e nel cordone ombelicale nelle situazioni in cui la gravidanza termina con un parto prematuro oppure con la nascita di un neonato dal peso ridotto o piccolo per l'età gestazionale.

Esistono vari approcci ampiamente utilizzati per calcolare la durata della gravidanza in termini di età gestazionale [5].

Nel primo trimestre di gestazione, il metodo tradizionale impiegato in ambito clinico per valutare l'età gestazionale consiste nel valutare in modo soggettivo le dimensioni dell'utero attraverso un esame bimanuale. L'accuratezza di questo metodo diminuisce con l'avanzare dell'età gestazionale, quando l'obesità materna, l'antiversione o la retroflessione dell'utero ostacolano l'esame fisico o quando contrazioni sostenute o gravidanze multiple provocano una discrepanza tra volume amniotico (contenente il liquido sieroso trasparente che costituisce le cosiddette acque del parto) e volume uterino [4].

Un secondo metodo coinvolge l'uso degli ultrasuoni per calcolare l'età gestazionale, fondato sulla valutazione delle dimensioni fetali all'inizio della gravidanza. Un'altra prassi

largamente adottata, soprattutto nelle regioni prive di accesso alle apparecchiature ad ultrasuoni, consiste nel calcolare la durata della gestazione in base all'ultimo periodo mestruale di una donna. Frequentemente, la data dell'ultima mestruazione risulta essere antecedente alla stima ottenuta tramite ultrasuoni, poiché si fonda sulla memoria di una donna riguardo alla data del suo ultimo ciclo mestruale [5].

Per la datazione dell'età gestazionale si può ricorrere anche all'ecografia fetale. Questa tecnica diagnostica fornisce una serie di misure corporee oggettive che possono essere confrontate clinicamente e correlate statisticamente con l'età gestazionale. Durante il primo e il secondo trimestre, le relazioni tra queste misurazioni e l'età gestazionale sono costantemente elevate, ma tendono a diminuire in modo progressivo successivamente. Ciò può creare difficoltà pratiche quando si esegue un esame ecografico su una persona in uno stadio avanzato di gravidanza.

I costituenti primari del corpo includono il cervello, lo scheletro, i tessuti molli e il tessuto adiposo. Nel corso del terzo trimestre, ciascuno di essi segue percorsi di crescita distinti e viene influenzato in modo variabile da cambiamenti individuali e interconnessi nell'ambiente immunologico, ormonale, metabolico e nutrizionale del feto. Di conseguenza, non esiste una singola misurazione che sia universalmente applicabile per stimare l'età gestazionale in tutte le circostanze. Quando abbiamo la fortuna di avere una data di concepimento nota o uno studio ecografico tecnicamente adeguato all'inizio della gravidanza, conosciamo la vera età gestazionale.

Durante la fase avanzata della gravidanza, un possibile approccio consiste nell'acquisire diverse misurazioni individuali, associarle ciascuna all'età gestazionale e successivamente calcolare una media combinata o ponderata delle stesse. In generale, dopo il terzo trimestre, non si ha una soluzione definitiva sul modo migliore di assegnare l'età gestazionale. La cosa migliore consiste nell'effettuare una valutazione ecografica nel corso della prima metà della gravidanza, specialmente quando altre indicazioni cliniche non sono sufficienti per stabilire con precisione l'età gestazionale [4].

Clinicamente, il corso della gravidanza è diviso in intervalli di tre mesi chiamati trimestri:

1. Il primo trimestre va dalla fecondazione fino alle prime 12 settimane. Questa è la fase più precaria, più della metà di tutti gli embrioni muoiono nel primo trimestre. Durante questo periodo il prodotto del concepimento è più vulnerabile allo stress, ai farmaci e alle carenze nutrizionali.

2. Il secondo trimestre (dalla 13° settimana alla 24° settimana) è un periodo in cui gli organi completano la maggior parte del loro sviluppo. Alla fine di questo trimestre il feto assume decisamente sembianze umane e, con intense cure cliniche, i neonati nati alla fine del secondo trimestre hanno possibilità di sopravvivere.
3. Nel terzo trimestre (dalla 25° settimana al parto) il feto cresce rapidamente e gli organi raggiungono una sufficiente differenziazione da sostenere la vita al di fuori del grembo materno. Alcuni organi, come il cervello, il fegato, e i reni, comunque, richiedono ulteriore differenziazione dopo la nascita per diventare perfettamente funzionanti. A 35 settimane dalla fecondazione il feto pesa in genere circa 2,5 kg. [3]

1.1.2 Cenni sui vari stadi dello sviluppo embrionale

Da un unto di vista più biologico che clinico lo sviluppo umano si divide in tre stadi chiamati: pre-embrionale, embrionale e fetale.

Lo stadio pre-embrionale inizia con lo zigote e dura circa 16 giorni. Esso comprende tre processi principali: segmentazione, impianto ed embriogenesi. La segmentazione consiste in varie divisioni mitotiche che avvengono nei primi 3 giorni dopo la fecondazione, che dividono lo zigote in cellule sempre più piccole chiamate blastomeri [figura 1].

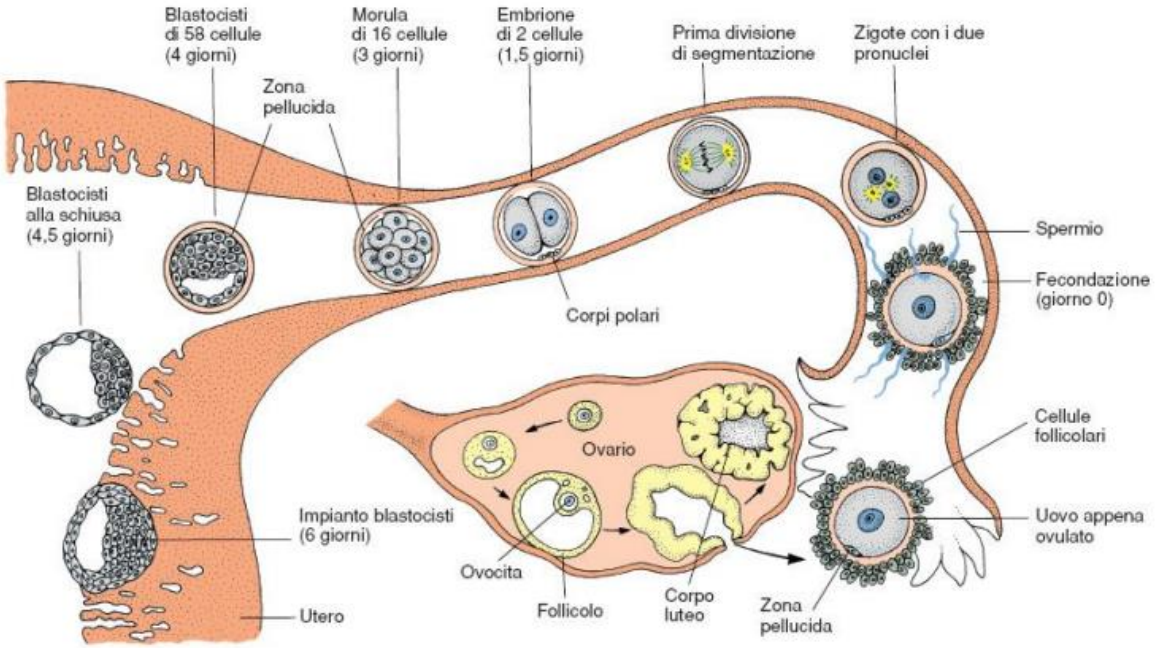


Figura 1: Migrazione del prodotto del concepimento

Questa fase inizia quando il prodotto del concepimento migra lungo la tuba uterina e, quando arriva nell'utero, esso ha una superficie con protuberanze simili a quelle di una mora di gelso ed è per questo chiamata morula. La morula è libera nella cavità uterina per 4-5 giorni e si divide in circa 100 cellule. Essa diventa una sfera cava chiamata blastocisti, con cavità interna chiamata blastocele. La parete della blastocisti è formata da uno strato di cellule squamose chiamato trofoblasto, che è destinato a formare parte della placenta e gioca un ruolo importante nel nutrimento dell'embrione. Da un lato del blastocele, aderente alla parte interna del trofoblasto, c'è una massa di cellule chiamata embrioblasto, che è destinata a diventare l'embrione stesso. Circa 6 giorni dopo l'ovulazione la blastocisti aderisce all'endometrio, in genere sul fondo o sulla parete posteriore dell'utero. Questo processo di attecchimento viene chiamato impianto e dura circa una settimana. Durante questo processo l'embrioblasto va incontro all'embriogenesi: la disposizione dei blastomeri in tre foglietti germinativi primari. L'embrioblasto si appiattisce in un disco embrionale (blastodisco) composto inizialmente da due strati: l'epiblasto che riveste la cavità amniotica e l'ipoblasto più profondo. Alcune cellule dell'ipoblasto si moltiplicano e formano una membrana, chiamata sacco vitellino, che racchiude il blastocele. Ora il disco embrionale è compreso tra due cavità: la cavità amniotica da un lato e il sacco vitellino dall'altro. Il passo successivo è la gastrulazione: moltiplicandosi le cellule dell'epiblasto migrano verso il solco primitivo e dentro di esso. Esse costituiscono l'ipoblasto originale con uno strato chiamato ora endoterma, che tra le altre cose diventerà il rivestimento interno del tratto digerente. Il giorno dopo le cellule dell'epiblasto migrate formano un terzo strato tra i primi due, chiamato mesoderma. Una volta che questo si forma, l'epiblasto rimanente viene chiamato ectoderma. Così, tutti e tre i foglietti germinativi primari nascono dall'originario epiblasto. Una volta che i tre foglietti sono formati l'embriogenesi è completa e l'individuo è considerato un embrione.

Lo stato embrionale dello sviluppo inizia dal giorno 16 e dura fino alla fine della 8° settimana. Durante questo periodo si sviluppano la placenta e le altre strutture accessorie, l'embrione comincia a ricevere il nutrimento principalmente dalla placenta, gli strati germinativi si differenziano in organi e apparati (organogenesi). Nelle settimane 3 e 4 l'embrione cresce rapidamente e si piega intorno al sacco vitellino, trasformando il disco embrionale piatto in una forma piuttosto cilindrica. I margini laterali del disco si ripiegano

intorno ai lati del sacco vitellino e formano la superficie ventrale dell'embrione. Come risultato del ripiegamento embrionale, l'intera superficie è ricoperta dall'ectoderma, che genera poi l'epidermide della cute. Diversi organi accessori si sviluppano insieme con l'embrione: la placenta, il cordone ombelicale e quattro membrane extraembrionali chiamate: amnios, sacco vitellino, allantoide e corion. La membrana amniotica si riempie di



liquido amniotico, che protegge l'embrione da traumi e infezioni; permette la libertà di movimento importante per lo sviluppo muscolare. Alla fine della 8° settimana sono presenti tutti gli apparati, l'individuo è lungo circa 3 centimetri ed è considerato un feto [figura 2].

Figura 2: Sviluppo del feto nella ottava settimana di gravidanza

Le sue ossa hanno appena cominciato a calcificarsi ed il cuore, che ha cominciato a battere dalla quarta settimana, ora fa circolare il sangue. I cambiamenti più importanti nel periodo fetale riguardano gli organi che diventano funzionali, e l'aumento rapido di peso del feto, che assume un aspetto più umano. La maggior parte dei neonati pesa da 3,0 a 3,4 chilogrammi. Durante lo stadio fetale gli arti crescono più rapidamente del tronco e raggiungono le loro proporzioni relative finali rispetto al tronco entro le 20 settimane. Al termine della gravidanza il cranio ha la circonferenza più grande di qualsiasi altra parte del corpo ed il passaggio della testa è la parte più difficile del parto [3].

1.2 Cambiamenti fisici e psicologici che caratterizzano la gravidanza

La maternità costituisce uno degli avvenimenti di maggiore rilievo nella vita di una donna, spesso delineato come una fase caratterizzata da sentimenti di eccitazione, attesa e trasformazione. Durante questo periodo, il corpo della donna subisce una serie di trasformazioni, abbracciando cambiamenti di natura biologica, chimica, ormonale e anatomica. Tali mutamenti possono rendere la donna incinta più suscettibile sia dal punto di vista fisico che psicologico [2].

1.2.1 Influenza dell'esercizio fisico prenatale

L'attività fisica, intesa come una pratica fisica organizzata e strutturata con l'obiettivo di migliorare uno o più aspetti della condizione fisica, costituisce un pilastro fondamentale di uno stile di vita salutare, contribuendo alla prevenzione e alla gestione di diverse patologie [6]. La gravidanza comporta significative modifiche nel funzionamento cardiovascolare, ma gli effetti e i possibili vantaggi dell'esercizio fisico durante la gravidanza e dopo il parto rimangono poco definiti [7].

Senza dubbio, la maternità rappresenta una buona opportunità per adottare un regime di attività fisica, dato che essa stimola la motivazione a mantenere o adottare uno stile di vita sano e comporta frequenti visite mediche, che facilitano il monitoraggio dell'esercizio fisico. Mantenere una regolare attività fisica durante la gravidanza è associato a diversi vantaggi, tra cui una ridotta incidenza di diabete gestazionale, disturbi ipertensivi, interventi chirurgici durante il parto, accumulo eccessivo di peso e il mantenimento del peso corporeo dopo il parto, nonché una minor probabilità di depressione postpartum [6].

In aggiunta, sembra che l'esercizio praticato durante la gravidanza conduca a un miglioramento della funzione circolatoria della madre (miglioramento delle prestazioni di eiezione ventricolare e riduzione della pressione sanguigna) dopo il termine della gestazione. Tuttavia, in definitiva, si può affermare che man mano che la gravidanza prosegue l'esercizio fisico prenatale non provochi sostanziali modifiche nella fisiologia materna, presupponendo che già le considerevoli trasformazioni nella fisiologia della madre possano mascherare gli effetti dell'esercizio fisico praticato durante la gravidanza [7].

1.2.2 Analisi dell'impedenza bioelettrica

Un altro metodo per valutare il rischio di sviluppare alcuni disturbi durante la gravidanza come l'ipertensione gestazionale, precedentemente nominata, o la preeclampsia è l'analisi

dell'impedenza bioelettrica (BIA). Questa metodologia viene utilizzata per valutare la composizione corporea e lo stato di idratazione. I cambiamenti significativi che si verificano nella composizione corporea di una donna nel periodo della maternità hanno il fine di fornire il sostegno necessario alla crescita e allo sviluppo del feto. L'aumento di peso durante la gestazione è associato all'aumento di tessuto materno, fetale e placentare, nonché a variazioni nei fluidi amniotici ed extracellulari, oltre a un incremento nel volume ematico. Nonostante le indicazioni fornite, solo una su tre donne in gravidanza riesce a conseguire un aumento di peso adeguato. Un incremento ponderale adeguato è di vitale importanza per il progresso salutare della gravidanza e per prevenire complicazioni, come ad esempio la preeclampsia. Dopo il parto, l'allattamento al seno contribuisce a ridurre l'indice di massa corporea e influisce su altre misurazioni di grasso corporeo. L'utilità clinica della valutazione della struttura corporea durante la gravidanza è di notevole importanza. Pertanto, una misurazione dell'impedenza in segmenti corporei specifici potrebbe risultare vantaggiosa, specialmente nel periodo avanzato della gestazione.

Questa tecnica, sebbene non riesca a distinguere tra i tessuti materni e fetali, rappresenta un metodo clinico non invasivo, affidabile, veloce e di facile impiego. Il principio della BIA si basa sulla misurazione dell'impedenza, ovvero la resistenza elettrica causata dalla differente conduttività dei vari tipi di tessuti biologici, come ad esempio il grasso o i muscoli. Il modello a quattro compartimenti per la composizione corporea è composto dalla massa grassa e dalla massa magra, che a loro volta includono acqua corporea totale, proteine e minerali [figura 3].

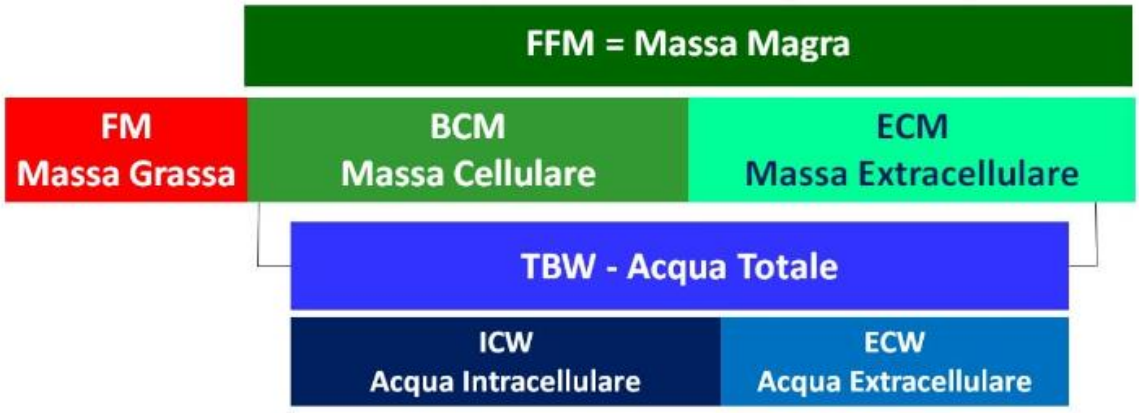


Figura 3: Il modello di composizione corporea

L'impedenza elettrica aumenta con l'aumentare della massa grassa. Il processo BIA prevede la misurazione della resistenza elettrica del corpo mediante elettrodi posti sulla superficie del corpo e collegati a un dispositivo di analisi computerizzato. Durante questa procedura viene applicata una corrente elettrica molto lieve (<1 mA). I dispositivi BIA possono variare in base a fattori come il numero, il tipo e la posizione degli elettrodi, la frequenza della corrente elettrica (singola o multipla) e la posizione del corpo durante le misurazioni. Questo metodo standardizzato funziona misurando la resistenza elettrica dei tessuti corporei a varie frequenze, correlandola al volume dei fluidi presenti nell'organismo [figura 4].

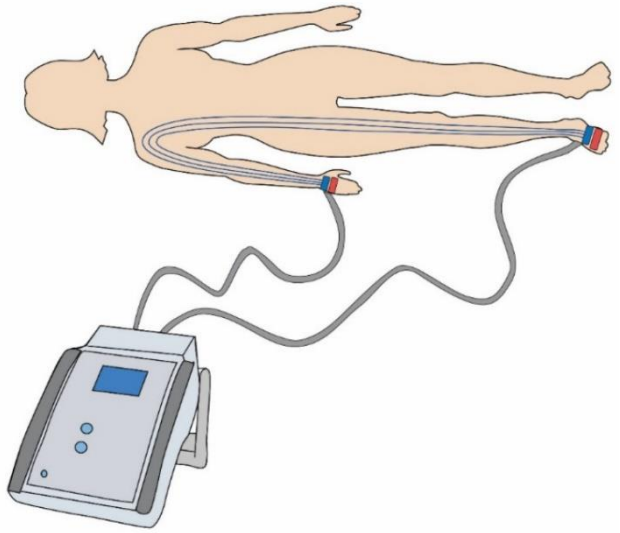


Figura 4: Schema degli elettrodi di superficie collegati al dispositivo di analisi della bioimpedenza

La conduttività elettrica è proporzionale alla quantità di acqua o elettroliti presenti, consentendo alla BIA di quantificare sia l'acqua intracellulare che quella extracellulare, oltre alla massa grassa e muscolare. La corrente elettrica applicata può essere segmentata, spettrale o operare su frequenze multi-bioelettriche. La corrente ad alta frequenza scorre tramite l'acqua presente nel corpo, mentre la corrente a bassa frequenza non è in grado di attraversare le membrane cellulari, fluendo quindi solo attraverso l'acqua extracellulare.

La valutazione del livello di idratazione può basarsi su misurazioni dell'intero corpo (dall'area del polso alla caviglia) oppure su misurazioni di segmenti specifici (come braccio, tronco e gamba). Da molti anni, questa metodologia è stata riconosciuta come un metodo diagnostico affidabile per valutare la distribuzione del tessuto adiposo e lo stato di idratazione. L'uso di apparecchi BIA per valutare la composizione corporea è comune nei centri sanitari e viene impiegato in diversi settori della medicina. Tuttavia, nei pazienti con obesità addominale grave, potrebbe verificarsi una sovrastima della percentuale di grasso

corporeo. In aggiunta, durante la gravidanza, i cambiamenti corporei significativi rappresentano un possibile fattore di distorsione che può influenzare i risultati delle misurazioni BIA. Questo costituisce uno dei limiti nell'utilizzo della BIA durante la gravidanza.

Un ulteriore vincolo da considerare è la notevole rilevanza che assume l'acqua corporea nel determinare la composizione corporea. Di conseguenza, è fondamentale seguire una preparazione adeguata per minimizzare l'effetto del ricambio idrico totale diurno nel corpo. Tale preparazione "pre-test" implica l'esecuzione della misurazione BIA sempre alla stessa ora del giorno, dopo un digiuno di almeno 4 ore e con la vescica svuotata poco prima della misurazione. Tutti questi requisiti possono rappresentare delle sfide e costituire limiti rilevanti per i medici che intendono applicare il test BIA alle loro pazienti in gravidanza. [8].

1.2.3 Importanza del benessere psicologico materno

Durante il periodo della gestazione, oltre l'attenzione che bisogna prestare alla salute fisica materna e al benessere del bambino, c'è la necessità di osservare con cura il benessere psicologico e la qualità di vita di tutte le donne incinte. Secondo l'American College of Obstetricians and Gynaecologists, il periodo perinatale rappresenta una fase in cui vi è un notevole aumento del potenziale rischio per una donna incinta di sviluppare disturbi psicologici, quali depressione e disturbi d'ansia.

La depressione è un disturbo dell'umore caratterizzato da una persistente sensazione di tristezza e da una significativa perdita di interesse nelle attività quotidiane. Questi sintomi principali durano per almeno due settimane o più. Altri sintomi includono sentimenti di inadeguatezza e inutilità, irritabilità e rancore, difficoltà nell'addormentarsi o nel mantenere il sonno, variazioni nell'appetito, calo di energia, problemi di concentrazione e memoria, oltre a pensieri di interruzione della gravidanza nei casi più gravi. La depressione coinvolge circa il 20% delle donne nel corso della loro vita e la gravidanza emerge come un periodo di particolare vulnerabilità, probabilmente a causa del loro stato ormonale alterato [9].

La frequenza della depressione durante la gravidanza è di circa una su cinque, ed è stato osservato che si manifesta più frequentemente nel periodo antecedente al parto rispetto al periodo successivo. Conformemente ai rapporti dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, la depressione costituisce la quarta principale causa di disabilità a livello globale. La ricerca,

inoltre dimostra che una gravidanza non pianificata o non desiderata può aumentare significativamente la probabilità di una donna di sviluppare depressione prenatale [10].
La depressione durante la gravidanza può derivare da vari fattori di rischio. Questi includono assistenza prenatale insufficiente, cattiva alimentazione, eventi stressanti come difficoltà finanziarie, precedenti disturbi psichiatrici, precedenti aborti, età, stato civile ed il livello di supporto sociale. Dato che questo disturbo può portare ad esiti ostetrici avversi e può compromettere la salute neonatale e comportamentale in seguito, bisogna preservare il benessere sia della madre che del bambino tramite la tutela della salute fisica, in particolare mediante professionisti sanitari e di aiuto psicologico. [9]

1.3 Fattori di rischio e disturbi materni

1.3.1 Diabete gestazionale

Il diabete gestazionale (GDM) rappresenta una frequente complicanza della gravidanza, caratterizzata dalla comparsa di livelli elevati di zucchero nel sangue (iperglicemia) durante il periodo gestazionale. L'American Diabetes Association classifica formalmente il GDM come "diabete diagnosticato per la prima volta nel secondo o terzo trimestre di gravidanza che non è chiaramente né un diabete di tipo 1 né di tipo 2 preesistente".
Durante una gravidanza sana, uno dei cambiamenti che subisce il corpo della madre riguarda il metabolismo. Un aspetto chiave riguarda la sensibilità all'insulina, l'ormone che regola il livello di zucchero nel sangue. All'inizio della gravidanza, il corpo diventa più sensibile all'insulina, consentendo una maggiore assunzione di zucchero da parte delle riserve di grasso in vista delle necessità energetiche future della gravidanza. Tuttavia, con il passare del tempo, gli ormoni prodotti dalla placenta rendono il corpo meno sensibile all'insulina, portando a un leggero aumento dei livelli di zucchero nel sangue. Questo aiuta a fornire al feto il glucosio di cui ha bisogno per la crescita. La rilevanza degli ormoni prodotti dalla placenta in questo processo è evidenziata dal fatto che la sensibilità materna all'insulina torna ai livelli pre-gravidanza poco dopo il parto. Tuttavia, in alcune gravidanze, questi adattamenti metabolici normali non funzionano come dovrebbero, portando al diabete gestazionale.
Secondo le stime più recenti della International Diabetes Federation, il GDM colpisce circa il 14% delle gravidanze in tutto il mondo, rappresentando circa 18 milioni di nascite all'anno. Questo disturbo può comportare rischi aggiuntivi per la salute della madre sia a breve che a

lungo termine, oltre al normale stress durante la gravidanza. Il GDM è associato a complicazioni gravidiche come il parto prematuro e la preeclampsia, che talvolta richiedono un parto cesareo. Un altro aspetto da considerare è che le donne che hanno con un precedente caso di GDM hanno un rischio annuale compreso tra il 2% e il 3% di sviluppare il diabete di tipo 2. Ci sono anche evidenze emergenti che suggeriscono che il sistema vascolare delle donne con una storia di GDM subisca alterazioni permanenti, aumentando il loro rischio di malattie cardiovascolari.

Il trattamento attuato nella maggior parte dei casi per contrastare questo disturbo è l'adozione di uno stile di vita sano, che comprende un adeguato regime alimentare ed esercizio fisico. Tuttavia, attualmente non esiste una strategia di trattamento o prevenzione ampiamente accettata per il diabete mellito gestazionale. Di conseguenza, si ricercano attivamente nuove terapie che siano sicure, efficaci e facili da somministrare [11].

1.3.2 Preeclampsia

La preeclampsia è una delle gravi complicanze che possono verificarsi durante la gravidanza e si stima che coinvolga circa il 4-5% delle gravidanze in tutto il mondo. Questa condizione può causare gravi problemi di salute sia per la madre che per il feto, contribuendo in modo significativo alla prematurità del feto e aumentando il rischio di malattie cardiovascolari a lungo termine per la madre. La preeclampsia viene diagnosticata quando si manifesta un aumento della pressione arteriosa, la presenza di proteine nelle urine o altri danni agli organi vitali dopo la ventesima settimana di gestazione [12].

La diagnosi della preeclampsia durante la gravidanza si basa su specifici criteri che si verificano dopo la ventesima settimana di gestazione. La forma grave è identificata da una pressione arteriosa superiore ai 160 mm Hg (sistolica) o 110 mm Hg (diastolica), accompagnata da una quantità di proteine nelle urine uguale o superiore a 5 grammi al giorno. Invece, la forma lieve è caratterizzata da una pressione sanguigna elevata inferiore a 160 mm Hg (sistolica) o 120 mm Hg (diastolica), ma con una quantità di proteine nelle urine superiore a 300 mg e inferiore a 5 g al giorno [13].

I fattori che contribuiscono allo sviluppo della preeclampsia includono la predisposizione genetica, la durata delle relazioni sessuali, il fumo materno, il numero di gravidanze precedenti, l'età della madre, l'utilizzo di tecniche di fecondazione assistita e le condizioni

mediche preesistenti della madre come l'ipertensione, il diabete, le malattie renali croniche e l'obesità [12].

La gestione della preeclampsia richiede una delicata valutazione dei rischi e dei benefici per la madre e il feto. La soluzione definitiva è rappresentata dal parto del feto e della placenta, data la progressiva natura della malattia. L'obiettivo primario degli ostetrici è garantire la nascita di neonati funzionalmente pronti ad affrontare l'ambiente extrauterino, minimizzando la necessità di cure intensive neonatali. Nelle gravidanze affette da preeclampsia, gli ostetrici devono bilanciare la necessità di far progredire la maturità fetale in utero con i rischi associati a una prolungata gestazione con l'eventuale nascita del feto prematuro. Attualmente, il parto è raccomandato a 37 settimane di gestazione per tutte le donne con preeclampsia, indipendentemente dalla gravità della condizione, poiché a questa fase i rischi superano i potenziali benefici per il feto. Tuttavia, per le donne con preeclampsia lieve tra la 34a e la 36a settimana di gestazione (gestazione tardiva pretermine) che mantengono una stabilità clinica, non esistono ancora linee guida chiare che definiscano il momento ottimale per il parto.

2.ELETTROCARDIOGRAMMA

2.1 Il cuore

2.1.1 Anatomia del cuore adulto

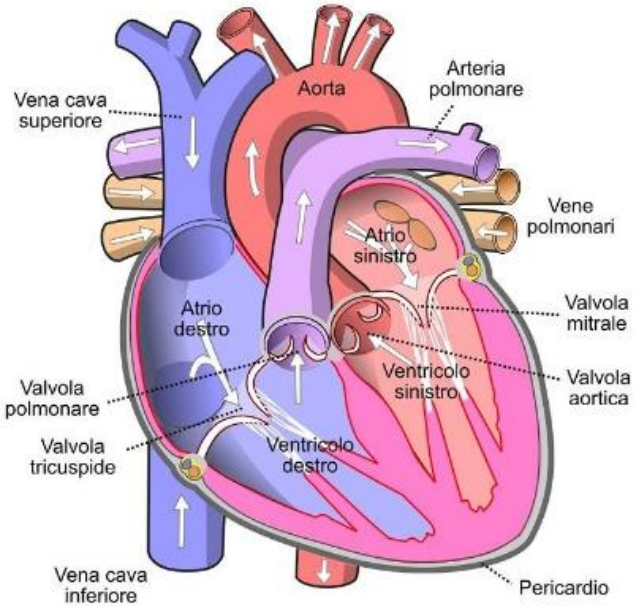


Figura 5: Anatomia del cuore

Il cuore [figura 5] è l'organo principale del sistema cardiovascolare che, grazie al sangue che circola nei vasi sanguigni, fornisce a tutto l'organismo le sostanze necessarie. È un organo muscolare involontario. Si stima che, per una persona adulta, il peso sia circa 250-300 grammi, con dimensioni uguali a quelle di un pugno della mano. Il cuore è lungo 12-13 cm, largo 8-10 cm e spesso circa 7 cm. Batte con una media di 100.000 volte ogni giorno, e pompa ogni minuto circa 5-6 litri di sangue attraverso il corpo. Il cuore occupa una posizione situata dietro lo sterno, spostato leggermente a sinistra, ed è attaccato al diaframma con legamenti forti che lo proteggono dai movimenti e lo separano da altri organi. Si trova specificamente nella zona centrale del torace, tra i polmoni e la colonna vertebrale. Un ulteriore protezione è data dal pericardio, una membrana connettivale che fornisce una protezione fondamentale per i vasi sanguigni principali.

Le pareti del cuore sono costituite principalmente da tre strati: epicardio, miocardio ed endocardio. L'epicardio costituisce lo strato più esterno del cuore ed è fondamentalmente una membrana che avvolge e protegge il cuore, producendo un liquido lubrificante. Il miocardio, conosciuto come il "muscolo" del cuore, è il tessuto che si contrae e si rilassa per

generare il battito cardiaco, spingendo il sangue attraverso il corpo. L'endocardio è uno strato di tessuto estremamente liscio che riveste la parte interna del cuore e previene la formazione di coaguli di sangue. Il cuore può essere suddiviso in due parti in base al tipo di sangue che vi circola: a destra si trova la cavità venosa, che ospita il sangue poco ossigenato, mentre a sinistra c'è la cavità arteriosa, dove scorre il sangue ricco di ossigeno. Ciascuna di queste parti si suddivide ulteriormente in quattro parti principali chiamate camere. Queste quattro camere, a loro volta, si dividono in due gruppi: gli atri e i ventricoli. Nel cuore, gli atri occupano la parte superiore, uno a destra e l'altro a sinistra. Sono di dimensioni più contenute rispetto ai ventricoli e agiscono come camere di ricezione per il sangue che fa ritorno al cuore. Al contrario, i ventricoli sono situati nella parte inferiore e sono spesso considerati le principali camere del cuore, poiché raccolgono il sangue ricco di ossigeno proveniente dall'atrio sinistro e lo spingono verso i polmoni.

Il cuore è collegato a due anelli circolatori distinti: l'anello destro, che dirige il sangue verso i polmoni, e l'anello sinistro, che lo spinge fuori nel corpo. Il sangue all'interno del cuore fluisce in una sola direzione, passando da una camera all'altra, grazie all'azione coordinata delle valvole cardiache. Queste valvole (tricuspide, mitrale, aortica e polmonare) sono formate da uno spesso strato di tessuto protettivo e si trovano tra le quattro camere del cuore e nelle arterie e vene che consentono al sangue di entrare ed uscire dal cuore. Durante il loro funzionamento, queste valvole si aprono e si chiudono per garantire che il sangue scorra nella giusta direzione e con il ritmo adeguato. Il movimento di apertura e chiusura dipende esclusivamente dalle variazioni sanguigni suddivisi in due categorie principali: arterie e vene.

Le arterie sono responsabili di trasportare il sangue ricco di ossigeno dal cuore a tutte le parti del corpo. Tra queste, l'aorta spicca per dimensioni ed è collegata al ventricolo sinistro del cuore. Si dirama in una rete di arterie più piccole che si estendono in tutto il corpo. Inoltre, le arterie coronarie, partendo dall'aorta, si suddividono nei lati destro e sinistro del cuore, e attraverso una rete di piccoli vasi e capillari forniscono sangue a tutto il cuore. L'arteria polmonare, invece, porta il sangue con bassi livelli di ossigeno e alti livelli di anidride carbonica ai polmoni per il processo di ossigenazione.

D'altra parte, le vene svolgono il ruolo di ricondurre il sangue deossigenato verso il cuore. Queste vene includono la vena cava, un sistema di due grandi vasi sanguigni che riportano il sangue al cuore. La vena cava inferiore trasporta il sangue dalla parte inferiore del corpo,

mentre la vena cava superiore riporta il sangue dalla testa, dalle braccia e dalla parte superiore del corpo al cuore.

2.1.2 Propagazione dello stimolo elettrico

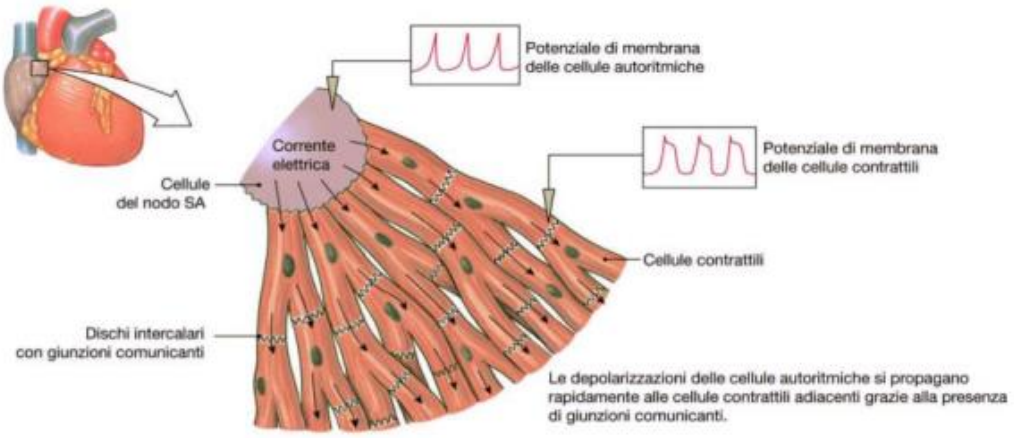


Figura 6: conduzione elettrica nelle cellule miocardiche

Il ciclo cardiaco inizia con l'autoeccitazione del nodo senoatriale (SA), che genera impulsi elettrici che si diffondono attraverso il miocardio. Questi impulsi si basano sul potenziale d'azione, per potenziale d'azione si intende una curva che rappresenta le variazioni del potenziale elettrico attraverso le membrane cellulari durante il ciclo cardiaco. La membrana cellulare ha similitudini con un condensatore in quanto può accumulare e separare cariche elettriche opposte, creando un gradiente elettrico.

Ci sono due tipi di cellule muscolari cardiache specializzate [figura 7]:

-Cellule contrattili, responsabili della contrazione cardiaca e compongono la maggioranza delle cellule muscolari cardiache. Non possono generare autonomamente impulsi elettrici.

-Cellule autoritmiche, capaci di iniziare e condurre impulsi elettrici che portano alla contrazione delle cellule contrattili. Non hanno un potenziale di riposo stabile, ma mostrano un'attività "pacemaker", depolarizzandosi gradualmente tra i potenziali d'azione fino a raggiungere la soglia di eccitazione.

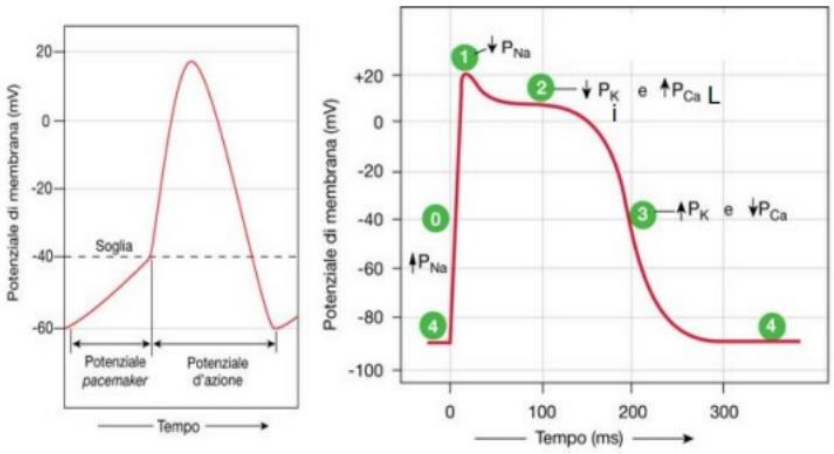


Figura 7: Confronto tra potenziale elettrico delle cellule autoritmiche (a sinistra) e contrattili (a destra)

Il cuore ha somiglianze con i muscoli scheletrici e i neuroni. Come i neuroni, le cellule miocardiche hanno una membrana negativa a riposo. La stimolazione oltre una soglia specifica apre canali ionici voltaggio-dipendenti, causando l'ingresso di ioni positivi come il calcio, che porta alla contrazione muscolare. I canali di potassio si aprono successivamente, rilasciando ioni positivi di potassio.

Ci sono differenze tra le cellule nodali e ventricolari dovute ai diversi canali ionici e meccanismi di polarizzazione. Le cellule del nodo SA generano depolarizzazioni spontanee per l'attività di pacemaker.

Il ciclo di propagazione elettrica nel cuore comprende quattro fasi [figura 8]:

- **potenziale di membrana a riposo** (*fase 4*): questa fase avviene quando la cellula è a riposo, durante la diastole cardiaca, con un potenziale di membrana costante di circa -80mV. Questo equilibrio di potenziale è mantenuto da ioni che entrano ed escono dalla cellula grazie a pompe speciali sulla membrana cellulare. Tuttavia, le cellule pacemaker raramente sono completamente a riposo e hanno un potenziale di membrana noto come "potenziale di pacemaker". In questa fase, il potenziale di membrana si sposta gradualmente verso valori più positivi fino a raggiungere la soglia, momento in cui può essere depolarizzato da un potenziale d'azione proveniente da una cellula vicina.

-depolarizzazione (*fase 0*): nella fase di depolarizzazione, si verifica un repentino cambiamento nella tensione della membrana cellulare dovuto a un flusso di carica positiva. Nelle cellule non-pacemaker, questo è causato dall'apertura dei canali del sodio (Na+) quando un potenziale d'azione proveniente da una cellula vicina arriva attraverso giunzioni

di gap. Se la tensione aumenta abbastanza e raggiunge la soglia, intorno a -80 mV, i canali del sodio si aprono, causando un aumento rapido della tensione verso valori positivi, intorno a +50 mV. Questo processo segue il principio della "legge del tutto o niente", il che significa che, se il potenziale di soglia non viene raggiunto, non si verificherà un potenziale d'azione. Nelle cellule pacemaker (come le cellule del nodo SA) la depolarizzazione è principalmente dovuta all'apertura dei canali del calcio di tipo L, che si attivano in risposta all'aumento del potenziale di pacemaker (descritto nella fase 4) o a un potenziale in ingresso. Questi canali del calcio si attivano più lentamente rispetto a quelli del sodio, producendo una forma d'onda più graduale.

- ripolarizzazione (*fasi 1, 2 e 3*):

◉ *fase 1*: nella fase di ripolarizzazione, i canali del sodio (Na+) si inattivano, causando una diminuzione dell'entità del sodio all'interno della cellula. Allo stesso tempo, i canali del potassio si aprono e si chiudono rapidamente, consentendo una rapida uscita di ioni di potassio dalla cellula. Questo processo porta alla ripristinazione della carica negativa sulla membrana cellulare.

◉ *fase 2:* conosciuta come "plateau", è caratterizzata da una stabile membrana potenziale, grazie all'equilibrio tra l'efflusso di ioni potassio e l'influsso di ioni calcio attraverso i canali di tipo L. Questa fase è fondamentale per prevenire battiti cardiaci irregolari e determina la durata complessiva del potenziale d'azione.

◉ *fase 3*: durante questa fase, i canali del calcio di tipo L si chiudono, mentre i canali del potassio K+ rimangono aperti, permettendo un efflusso di ioni positivi verso l'esterno. Ciò causa una diminuzione del potenziale di membrana e ripristina il potenziale di riposo. Le pompe ioniche contribuiscono a pompare il calcio intracellulare verso l'esterno, causando il rilassamento del muscolo cardiaco. In breve, questa fase comporta la ripolarizzazione e il rilassamento muscolare.

-periodo refrattario: le cellule cardiache hanno due periodi refrattari, uno durante la fase 0 fino alla parte iniziale della fase 3 e uno successivo fino alla fine della fase 3.

Questi periodi refrattari impediscono alla cellula di generare un nuovo potenziale d'azione durante questo tempo. Il periodo refrattario assoluto è quando i canali sono completamente inattivati e non rispondono a nessun tipo di stimolo. Il periodo refrattario relativo avviene quando i canali del potassio permettono una ripolarizzazione parziale, ma è necessario uno stimolo più forte per generare un nuovo potenziale d'azione.

Le alterazioni nei potenziali d'azione delle cellule cardiache possono portare a gravi condizioni come l'aritmia cardiaca e, in alcuni casi, la morte improvvisa. L'attività del potenziale d'azione cardiaco può essere registrata tramite un elettrocardiogramma (ECG), che mostra i picchi corrispondenti alla depolarizzazione (valori positivi) e alla ripolarizzazione (valori negativi) del cuore.

2.1.3 L'apparato di conduzione

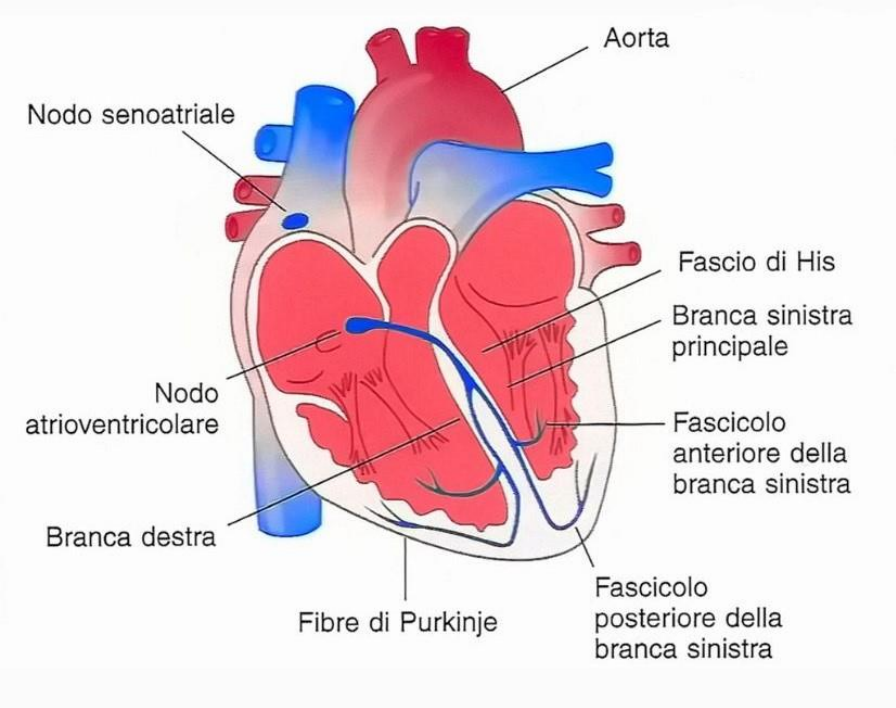


Figura 8: Sistema di conduzione cardiaca

Il cuore si contrae spontaneamente grazie a stimoli elettrici generati dal sistema di conduzione cardiaca. Questo sistema [figura 6] è composto da:

-Nodo seno-atriale (SA) - il pacemaker naturale del cuore.

-Sistema di conduzione intraventricolare, noto come fascio di His.

-Tratti internodali che facilitano la conduzione atriale.

-Fibre di Purkinje responsabili della rapida diffusione dell'impulso elettrico nei ventricoli.

-Nodo atrio-ventricolare (AV) che coordina la trasmissione degli impulsi tra gli atrii e i ventricoli.

Il cuore si contrae grazie agli stimoli elettrici generati da tessuti specializzati, come il nodo seno-atriale (SAN), che funziona come un pacemaker naturale. Questi tessuti, come le cellule muscolari striate, sono in grado di generare impulsi elettrici che provocano la

contrazione delle cellule muscolari del cuore. Il sistema di conduzione cardiaca inizia con il SAN nell'atrio destro, che stabilisce il ritmo cardiaco e trasmette gli impulsi agli atri. Da qui, gli impulsi passano al nodo atrioventricolare (AVN) nel setto interatriale, che agisce come un filtro con un breve ritardo per consentire agli atri di contrarsi prima della contrazione dei ventricoli. Gli impulsi quindi si dirigono verso i ventricoli attraverso il fascio di His e le fibre di Purkinje. Il ritmo cardiaco può essere influenzato dal sistema nervoso simpatico (che accelera il battito) e dal sistema nervoso parasimpatico (che lo rallenta).

2.1.4 Ciclo cardiaco

Il ciclo cardiaco è la sequenza coordinata di eventi che si verifica in ogni battito cardiaco. Comprende due fasi principali: la sistole, durante la quale i ventricoli si contraggono e pompano il sangue nell'aorta e nelle arterie polmonari con le valvole atrioventricolari chiuse e le valvole polmonari e aortiche aperte, e la diastole, quando il cuore si rilassa e si riempie di sangue con le valvole atrioventricolari aperte e le valvole polmonari e aortiche chiuse. Questo ciclo coinvolge sia gli atrii sia i ventricoli e costituisce il fondamento del battito cardiaco. Un ciclo completo di questi eventi è chiamato ciclo cardiaco e si compone principalmente da tre fasi:

-Sistole atriale e riempimento ventricolare: durante la fase di sistole atriale, gli atri si contraggono, permettendo il riempimento passivo dei ventricoli poiché la pressione nel cuore è bassa. Questo culmina con l'apertura delle valvole atrioventricolari e il 70% del riempimento ventricolare avviene in questa fase. Successivamente, gli atri si contraggono ulteriormente, spingendo il sangue residuo nei ventricoli. Questo periodo di rilassamento ventricolare durante il quale il sangue è all'interno dei ventricoli è chiamato volume diastolico finale (EDV). Gli atri si rilassano, l'impulso elettrico si propaga ai ventricoli, che subiscono la depolarizzazione (rilevabile nell'elettrocardiogramma come l'onda QRS).
- Sistole ventricolare: durante la fase di sistole ventricolare, i ventricoli si contraggono per circa 0.4 secondi, causando la chiusura delle valvole atrioventricolari e l'apertura delle valvole semilunari (polmonare e aortica). Questa contrazione aumenta la pressione nei ventricoli, portando all'apertura delle valvole polmonari e aortiche. Di conseguenza, il sangue poco ossigenato viene inviato ai polmoni per l'ossigenazione, mentre il sangue ricco di ossigeno viene pompato nell'intero corpo attraverso l'aorta.

- Rilassamento volumetrico: Nella fase di rilassamento isovolumetrico del ciclo cardiaco, i ventricoli si rilassano e il sangue rimanente nella camera è chiamato volume sistolico finale (ESV). La pressione ventricolare scende rapidamente, causando un breve riflusso di sangue nell'aorta e nel tronco polmonare, che fa chiudere le valvole aortiche e polmonari e crea una caratteristica variazione di pressione chiamata tacca dicroica. Il cuore funziona come una pompa, creando pressione nelle camere cardiache durante la contrazione e influenzando l'apertura o la chiusura delle valvole per regolare il flusso sanguigno tra le camere. La pressione è più alta nella parte sinistra del cuore, ma il volume di sangue pompato è lo stesso in entrambe le parti. Il flusso sanguigno dipende dalla pressione, con il sangue che si muove dalla zona ad alta pressione a quella a bassa pressione, consentendo la circolazione del sangue attraverso il corpo.

Il battito cardiaco è regolato da tessuti nervosi specializzati, tra cui il Nodo Senoatriale (SA) e il Nodo Atrioventricolare (AV). Il SA è un pacemaker cardiaco situato nell'atrio destro che avvia l'impulso e lo diffonde attraverso gli atri. L'impulso passa quindi al Nodo AV, che si trova vicino all'atrio destro, e da lì viene trasmesso ai ventricoli tramite il Fascio Atrioventricolare.

Un principio fisiologico ai cardini della funzione cardiaca è la legge di Frank-Starling che afferma che il precarico, ovvero la quantità di sangue che entra nel cuore durante il riempimento, influisce sulla quantità di sangue che il cuore può pompare (gittata cardiaca). Il precarico influisce sullo stiramento delle fibre muscolari cardiache, aumentando la contrattilità del cuore e la gittata cardiaca.

Molti ormoni e sostanze chimiche possono influenzare la contrattilità del cuore. Gli inotropi positivi, come l'adrenalina, aumentano la contrattilità, mentre gli inotropi negativi, come i bloccanti del calcio, la diminuiscono.

In generale, il ciclo cardiaco è regolato dalla coordinazione di questi componenti, garantendo un battito cardiaco costante e una pompa efficace del sangue nel corpo.

2.2 Il segnale elettrocardiografico

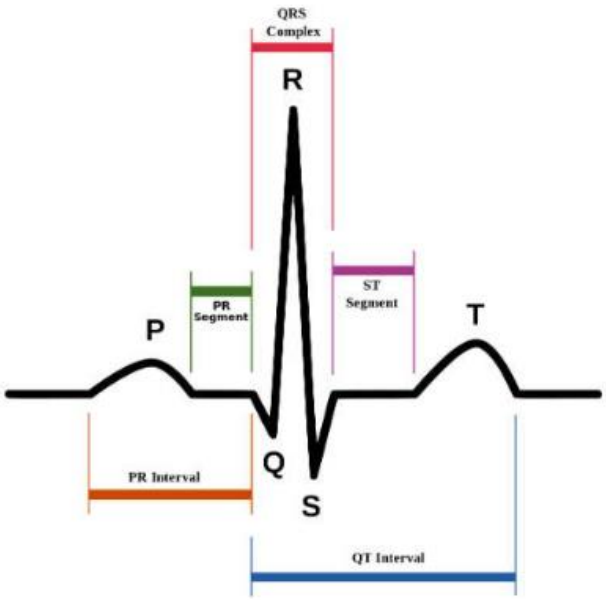


Figura 9: Schema di un elettrocardiogramma

Un elettrocardiogramma [figura 9], noto anche come ECG, è un test diagnostico non invasivo utilizzato per registrare l'attività elettrica del cuore. Questo test fornisce importanti informazioni sulla funzione cardiaca, aiutando i medici a valutare il ritmo cardiaco, rilevare anomalie e diagnosticare problemi cardiaci come aritmie, infarti miocardici e altre condizioni cardiache.

Durante un ECG, vengono posizionati elettrodi sulla pelle del paziente in specifici punti del corpo. Questi elettrodi rilevano le variazioni di potenziale elettrico generate dalle cellule muscolari cardiache durante il ciclo cardiaco. Le informazioni raccolte vengono quindi rappresentate in un grafico chiamato tracciato ECG, che mostra le onde elettriche che corrispondono alla depolarizzazione e alla ripolarizzazione del cuore.

L'ECG, come accennato in precedenza, è una risorsa fondamentale per la diagnosi e il monitoraggio delle condizioni cardiache, consentendo ai medici di prendere decisioni informate sulla gestione della salute del paziente.

2.2.1 Strumenti per l'identificazione del segnale



Figura 10: elettrocardiografo montato su un supporto scorrevole

L'elettrocardiografo [figura 10] è lo strumento utilizzato per registrare e tracciare il segnale elettrico cardiaco. È composto da un corpo centrale che registra il segnale da elettrodi posizionati sul torace del paziente e lo collega a un computer e una stampante. Esistono vari modelli di elettrocardiografi, alcuni molto automatizzati e sofisticati, disponibili sul mercato per scopi diagnostici e monitoraggio cardiaco. La registrazione elettrica del cuore avviene attraverso gli elettrodi posizionati sulla pelle, che rilevano i movimenti di potenziale generati dagli impulsi elettrici nel miocardio. Il tracciato ECG fornisce informazioni sulla funzione cardiaca e rivela variazioni grafiche chiamate onde. Le alterazioni nel tracciato ECG indicano problemi cardiaci o alterazioni nella normale attività cardiaca.

2.2.2 Morfologia del segnale

Per un corretto esame dell'ECG durante la gravidanza, è essenziale che la madre rimanga rilassata e sdraiata, evitando tensioni muscolari per una migliore visualizzazione delle contrazioni cardiache. Il cuore ha due parti principali: gli atri, con contrazioni deboli rappresentate dall'onda P, e i ventricoli, con contrazioni più forti rappresentate dal complesso QRS. Durante il riposo, si registra l'onda T. In sintesi, l'ECG cattura varie fasi del potenziale di membrana cardiaca: depolarizzazione, onda P, complesso QRS e ripolarizzazione (segmento ST e onda T). Nel tracciato ECG, le lettere P, Q, R, S e T sono scelte casualmente

e non hanno un significato specifico. Le lettere P, Q, R, S e T sono singole onde. Quando combinate come Q, R e S, formano un complesso. L'intervallo tra l'onda S e l'onda T è chiamato tratto ST. La linea isoelettrica è una linea retta sul tracciato dove si producono onde sopra o sotto di essa. Queste onde possono essere positive o negative a seconda della loro posizione.

◉ *Onda P*: L'onda P è la prima osservata nell'ECG e rappresenta la depolarizzazione degli atri del cuore. Gli atri hanno contrazioni deboli, il che spiega le dimensioni ridotte dell'onda P. La sua durata varia da 0,05 a 0,11 secondi, mentre l'ampiezza è inferiore a 2,5 mm. Il voltaggio registrato è compreso tra 0,01 e 0,04 mV.

◉*Intervallo PQ*: L'intervallo PQ (o PR) rappresenta il tempo di propagazione dell'onda elettrica dal momento in cui inizia l'onda P fino alla comparsa del complesso QRS. Questo intervallo varia da 0,11 a 0,20 secondi e la sua durata può cambiare in base alla frequenza cardiaca. È indicativo dell'efficienza della conduzione elettrica dagli atri ai ventricoli, e anomalie potrebbero essere evidenziate da un intervallo troppo breve.

◉ *Complesso QRS*: Il complesso QRS rappresenta la depolarizzazione dei ventricoli del cuore ed è formato da tre onde: Q (negativa), R (positiva), e S (negativa). Questo complesso segna il momento in cui l'impulso elettrico raggiunge il nodo atrioventricolare (AV) e si propaga attraverso le fibre di Purkinje, passando per il fascio di His e le branche destre e sinistre. Si misura dall'inizio del QRS fino al punto J. Qualsiasi anomalia nella conduzione può rallentare il complesso QRS. La ripolarizzazione, che riporta le cellule allo stato iniziale, non è visibile nell'ECG a causa dell'ombra del complesso QRS.

◉*Tratto ST*: Questa fase si trova tra la fine del complesso QRS e l'inizio dell'onda T. Durante il tratto ST, non si registra alcuna attività elettrica, ma si osserva un'oscillazione massima di 1 millimetro in positivo o negativo.

◉ *Onda T*: l'onda T rappresenta la ripolarizzazione dei ventricoli del cuore. Si verifica sempre dopo il complesso QRS ed è importante che mantenga la stessa direzione. Se l'onda T fosse invertita rispetto al complesso QRS, potrebbe indicare problemi cardiaci, come ischemia miocardica. L'onda T ha generalmente un picco leggermente arrotondato e un voltaggio di solito compreso tra 0,2 e 0,3 millivolt (mV).

◉ Onda U: l'onda U è meno conosciuta e non è sempre visibile in un tracciato ECG. È stata associata a disturbi della conduzione e a cambiamenti nei livelli di elettroliti nel sangue, come l'ipo o l'iperpotassemia e l'ipo o l'ipercalcemia.

◉ L'intervallo QT: rappresenta il tempo tra il complesso QRS e l'onda T ed è un indicatore critico del processo di sistole elettrica del cuore. La sua durata è fortemente influenzata dalla frequenza cardiaca, con durate più brevi a frequenze cardiache più elevate. Per determinare i limiti di normalità, viene applicata una correzione in base alla frequenza cardiaca utilizzando spesso la formula di correzione di Bazett ($QTc = \frac{QT}{\sqrt{\mathrm{RR}}}$)

In condizioni fisiologiche, la durata dell'intervallo QT varia generalmente tra 0,35 e 0,47 secondi, con valori leggermente più alti nelle donne rispetto agli uomini. L'analisi dell'intervallo QT è essenziale per rilevare potenziali anomalie nella conduzione cardiaca, poiché prolungamenti eccessivi possono essere associati a rischi cardiaci. Pertanto, monitorare e interpretare correttamente l'intervallo QT è fondamentale per la valutazione della funzione cardiaca.

2.2.3 Registrazione del segnale

Tutti i segnali elettrici derivanti dall'attività cardiaca vengono registrati e raccolti da ben 5 elettrodi che vengono fissati sulla superficie del corpo. Di questi cinque, quattro sono collocati su ogni arto e uno viene fissato attraverso delle ventose sul torace della donna in posizione specifiche, note come "V", che vanno dall'numero uno al 6, segnate in questo modo: "V1, V2, V3, V4, V5, V6". L'elettrocardiografo registra i segnali elettrici raccolti in queste posizioni riportandoli poi sul tracciato. La posizione di ogni elettrodo viene calcolata attraverso un sistema di assi che permette all'ECG di registrare tutti i potenziali di conduzione dell'attività cardiaca. Questo sistema di assi genera dei punti precisi chiamati derivazione.

Ogni derivazione registra l'attività cardiaca da un diverso punto di vista e produce, quindi, un'immagine elettrocardiografica specifica associata a quel punto. Non occorre ricordarsi nello specifico quali elettrodi corrispondono a determinate derivazioni, ma è necessario posizionare gli elettrodi in modo corretto. L'elettrocardiogramma (ECG) registra l'attività cardiaca da diverse prospettive attraverso 12 derivazioni che comprendono 6 derivazioni periferiche degli arti, di cui 3 sono unipolari e 3 bipolari, e 6 derivazioni precordiali situate sul torace. Le derivazioni degli arti sono indicate con le sigle DI, DII, DIII (bipolari) e aVR,

aVL, aVF (unipolari) e registrano l'attività elettrica attraverso elettrodi posizionati su braccia, gambe e torace, con l'elettrodo sulla gamba sinistra che funge da neutro. Le derivazioni periferiche utilizzano un codice di colori internazionale per identificare il punto specifico in cui ogni elettrodo deve essere applicato. Questi codici sono:

-elettrodo rosso: braccio destro;

-elettrodo giallo: braccio sinistro;

-elettrodo nero: gamba destra;

-elettrodo verde: gamba sinistra.

Gli elettrodi posti sulle braccia e sulla gamba destra formano un triangolo equilatero chiamato "triangolo di Einthoven" e sono posizionati nelle zone periferiche bipolari DI, DII e DIII. Queste derivazioni [figura 11] sono definite come segue:

◉ DI: Braccio destro negativo e braccio sinistro positivo

◉ DII: Gamba sinistra positiva e braccio destro positivo.

◉ DIII: Gamba sinistra positiva e braccio sinistro negativo.

In condizioni fisiologiche, queste derivazioni registrano onde con deflessioni verso l'alto sull'ECG.

I punti "unipolari" vengono registrati utilizzando gli stessi elettrodi dei punti "bipolari", ma esplorano l'attività elettrica dal torace attraverso il triangolo di Einthoven utilizzando una singola derivazione. Queste derivazioni unipolari sono chiamate aVR, aVL e aVF, dove "a" sta per "aumentate" (amplificate) e V indica il voltaggio, mentre le lettere R, L ed F si riferiscono agli arti a cui sono collegati gli elettrodi (braccio destro, braccio sinistro e gamba sinistra).

Nelle derivazioni unipolari [figura 11], l'elettrodo positivo è chiamato "esplorante", mentre gli altri due con polo negativo sono chiamati "indifferenti". In sintesi:

-aVR: Esplorante sul braccio destro, indifferenti sul braccio e sulla gamba sinistra.

-aVL: Esplorante sul braccio sinistro, indifferenti sul braccio destro e sulla gamba sinistra.

-aVF: Esplorante sulla gamba sinistra, indifferenti sul braccio destro e sinistro.

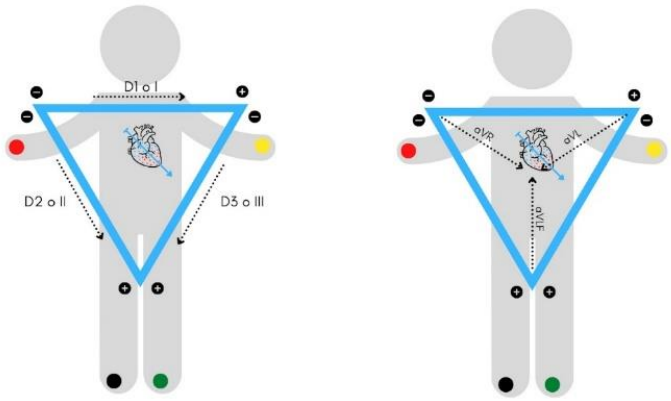


Figura 11: Schema di derivazioni unipolari e bipolari

In un ECG normale, le derivazioni aVL e aVF mostrano onde positive (deflessione verso l'alto), mentre la derivazione aVR mostra un'onda negativa (deflessione verso il basso) a causa della registrazione in senso contrario al flusso di corrente cardiaca. Le derivazioni precordiali, V1, V2, V3, V4, V5 e V6, registrano l'attività elettrica in diverse posizioni vicino al cuore.

I punti V1 e V2 sono principalmente negativi perché sono vicino alla base del cuore, dove c'è corrente elettronegativa durante la depolarizzazione. Le derivazioni a sinistra, come V5 e V6, sono positive perché sono vicino all'apice cardiaco, dove c'è corrente elettropositiva durante la ripolarizzazione. Ogni punto precordiale ha un codice colore specifico per il riconoscimento internazionale, in particolare, esplicitando anche la posizione:

•V1: rosso, posizionato in corrispondenza del quarto spazio intercostale verso destra;
•V2: giallo, posizionato in corrispondenza del quarto spazio intercostale verso sinistra;
•V3: verde, posizionato nello spazio tra V2 e V4;
•V4: marrone, posizionato in corrispondenza del quinto spazio intercostale;
•V5: nero, posizionato in corrispondenza del quinto spazio intercostale verso sinistra;
•V6: viola, posizionato in corrispondenza del quinto spazio intercostale verso sinistra.

2.2.4 Il triangolo di Eithoven

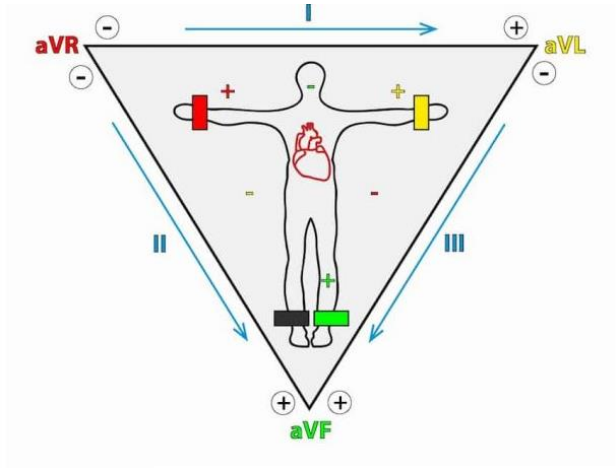


Figura 12: triangolo di Einthoven

Il triangolo di Einthoven [figura 12] è formato dagli elettrodi sulle braccia e su una gamba, con il cuore al suo centro. Secondo la legge di Einthoven, la somma dei potenziali elettrici in questo triangolo è costante, quindi è necessario utilizzare un elettrodo positivo. Le derivazioni DI, DII e DIII sono definite "aumentate" perché la loro ampiezza è aumentata del 50% rispetto a quelle degli arti per una migliore leggibilità. In queste derivazioni, l'attività cardiaca è registrata sul piano frontale. In particolare, aVR non indica segni particolari, aVL registra l'attività elettrica della parete laterale e aVF registra l'attività elettrica della parete inferiore.

3.CAMBIAMENTI ELETTROCARDIOGRAFICI MATERNI DURANTE LA GRAVIDANZA

3.1 Cambiamenti fisiologici in gravidanza

Durante il periodo di gravidanza, si verificano adattamenti fisiologici che influenzano ogni sistema di organi del corpo. Questi adattamenti sono essenziali per nutrire il feto in crescita e preparare il corpo materno al processo del travaglio e del parto.

Tuttavia, essi possono comportare variazioni nei parametri biochimici normali e talvolta manifestarsi con sintomi che potrebbero superficialmente assomigliare a segni di una condizione medica patologica. È di fondamentale importanza discernere tra questi cambiamenti fisiologici regolari e le manifestazioni patologiche, al fine di una gestione clinica accurata durante la gravidanza.

Durante una gravidanza normale, il volume del plasma sanguigno aumenta gradualmente. Questo aumento, che rappresenta circa il 50% in più rispetto alla condizione pre-gravidanza, avviene principalmente entro la 34a settimana di gestazione ed è direttamente correlato al peso del bambino alla nascita. Poiché l'espansione del volume del plasma supera l'incremento della massa dei globuli rossi nel sangue, si verifica una riduzione dei livelli di emoglobina, ematocrito e del numero totale di globuli rossi nel corpo.

Inoltre, è comune osservare una progressiva diminuzione del numero di piastrine nel sangue, anche se generalmente queste rimangono all'interno dei livelli considerati normali. In una percentuale di donne (circa il 5-10%), il conteggio delle piastrine può raggiungere valori compresi tra 100 e 150 × 10^9 cellule per litro verso la fine della gravidanza, senza che ciò sia associato a problemi di salute.

Nel corso della gestazione, il corpo richiede notevoli quantità di ferro, da due a tre volte superiori rispetto a quelle normali, non solo per la formazione dell'emoglobina, ma anche per supportare la crescita del feto e la sintesi di enzimi essenziali. In aggiunta, c'è un aumento significativo del bisogno di folati (vitamina del gruppo B), che aumenta da 10 a 20 volte rispetto ai livelli abituali.

Si verificano cambiamenti anche nel sistema di coagulazione che creano uno stato fisiologico di maggiore tendenza alla coagulazione (preparando il corpo per affrontare eventuali perdite di sangue dopo il parto). Questi cambiamenti includono un aumento dei livelli di alcuni fattori coagulativi, nonché un significativo aumento del fibrinogeno fino al

50%. Allo stesso tempo, la capacità del corpo di dissolvere il coagulo (fibrinolisi) diminuisce. Nel complesso, questi cambiamenti spostano l'equilibrio del sistema di coagulazione verso una maggiore tendenza alla coagulazione, aumentando il rischio di trombosi venosa sia durante la gravidanza che nelle prime 12 settimane dopo il parto. È importante notare che, nei test di laboratorio che valutano la coagulazione, i risultati rimangono nella norma a meno che non siano presenti problemi con anticoagulanti o coagulopatie.

3.1.1 Cambiamenti cardiaci

Le modifiche nel sistema cardiovascolare durante la gravidanza sono significative e iniziano fin dalle prime fasi, tanto che già all'ottava settimana di gestazione si osserva un aumento del 20% della gittata cardiaca (quantità di sangue pompata dal cuore). Questo cambiamento primario è probabilmente dovuto alla dilatazione dei vasi sanguigni periferici.

La vasodilatazione periferica riduce le resistenze nei vasi sanguigni sistemici del corpo di circa il 25-30%. Per compensare questo effetto, il cuore aumenta la sua pompa, incrementando la gittata cardiaca di circa il 40% durante la gravidanza. Questo aumento principalmente riguarda la quantità di sangue pompata in ogni contrazione (gittata sistolica), ma anche, in misura minore, la frequenza cardiaca. La massima gittata cardiaca si verifica tra la ventesima e la ventottesima settimana di gravidanza, con una diminuzione minima alla fine della gestazione.

L'aumento della gittata sistolica è reso possibile grazie all'incremento precoce della massa muscolare nella parete del cuore e al volume del sangue che il cuore può contenere durante la fase di rilassamento (volume telediastolico), pur mantenendo stabile la pressione durante questa fase. Il cuore si espande fisiologicamente, diventando più grande, e la sua capacità di contrazione aumenta. Anche se la gittata sistolica diminuisce alla fine della gravidanza, l'incremento della frequenza cardiaca materna (di circa 10-20 battiti al minuto) aiuta a mantenere l'aumento complessivo della quantità di sangue pompata dal cuore. La pressione arteriosa, dopo una diminuzione nei primi due trimestri, torna ai livelli pre-gravidanza nel terzo trimestre.

Il posizionamento della madre durante il parto ha un profondo impatto sulla circolazione sia della madre che del feto. Quando la madre è in posizione supina, la pressione dell'utero gravido sulla vena cava inferiore riduce il ritorno venoso al cuore, causando una diminuzione

della gittata sistolica e della gittata cardiaca. Cambiare dalla posizione supina a quella laterale può ridurre la gittata cardiaca fino al 25%. Di conseguenza, è consigliabile che le donne incinte siano posizionate lateralmente (preferibilmente sulla sinistra o sulla destra) quando possibile.

Nonostante l'incremento del volume sanguigno e della gittata sistolica durante la gravidanza, alcune pressioni nel sistema polmonare e venoso centrale rimangono relativamente stabili. Le resistenze nei vasi sanguigni polmonari e sistemiche diminuiscono notevolmente durante la gravidanza. Tuttavia, la pressione nel sistema polmonare rimane costante, mentre la pressione osmotica nel sangue è ridotta del 10-15%. Questa riduzione può rendere le donne in gravidanza più suscettibili all'edema polmonare (presenza di liquidi in eccesso all'interno degli alveoli), specialmente in situazioni di aumento del carico cardiaco o della permeabilità dei capillari polmonari, come nella preeclampsia.

Durante il travaglio, si verifica un ulteriore aumento della gittata cardiaca, influenzato dalle contrazioni uterine che portano ad un'autotrasfusione di sangue nuovamente in circolo, e dà una risposta simpatica al dolore e all'ansia.

Dopo il parto, l'ostruzione della vena cava inferiore si allevia, e l'utero inizia a contrarsi, scaricando il sangue nella circolazione sistemica. Ciò comporta un aumento repentino della gittata cardiaca, seguito da un ritorno ai livelli pre-travaglio entro un'ora circa dal parto. L'eliminazione dei fluidi dallo spazio extravascolare aumenta ulteriormente il ritorno venoso e la gittata sistolica.

Le donne con condizioni cardiovascolari preesistenti sono a rischio di sviluppare edema polmonare durante il travaglio e subito dopo il parto, poiché possono avere difficoltà a compensare queste variazioni emodinamiche. La gittata cardiaca torna quasi alla normalità circa due settimane dopo il parto, a meno che non vi siano condizioni patologiche persistenti, come l'ipertensione causata dalla preeclampsia [15].

3.2 Variazioni dei parametri elettrocardiografici in gravidanza

Come descritto precedentemente, la gravidanza è un periodo straordinario nella vita di una donna, caratterizzato però da modifiche nel sistema cardiaco della madre. Questi cambiamenti includono variazioni nei parametri elettrocardiografici che possono offrire preziose informazioni sulla salute cardiaca durante questa fase cruciale. Comprendere questi cambiamenti elettrocardiografici è essenziale per monitorare la salute della madre e garantire

un corso gravidico ottimale. In generale si evidenzia un prolungamento massimo dell'onda P, accorciamenti dell'intervallo PR (la conduzione attraverso il nodo atrioventricolare) e uno spostamento a sinistra dell'asse QRS. Inoltre, si manifestano onde Q più evidenti nelle derivazioni inferiori, mentre si riscontrano onde T appiattite o invertite nelle derivazioni III e V1-V3. Sebbene sia prevista una modesta tachicardia, l'intervallo QT (dalla depolarizzazione dei ventricoli alla repolarizzazione) tende a essere più breve. Tuttavia, nel secondo e terzo trimestre della gravidanza, sia l'intervallo QT che l'intervallo QT corretto risultano prolungati rispetto al periodo non gravidico, pur mantenendosi all'interno dei limiti di normalità. Nonostante queste alterazioni siano riscontrabili per l'intera durata della gravidanza, nella maggior parte dei casi, i valori restano compresi nei limiti fisiologici standard [16].

3.2.1 Focus sui cambiamenti tra il primo e il terzo trimestre

Secondo uno studio condotto presso l'Università di Scienze Mediche di Teheran in Iran, tra giugno e settembre 2018, si evidenziano le principali variazioni dei parametri relativi all'ECG tra il primo e il terzo trimestre di gestazione. In questo studio sono state reclutate 96 donne incinte, di età compresa tra 18 e 35 anni, che stavano effettuando le loro normali visite ostetriche durante il primo trimestre di gravidanza. Queste donne godevano di buona salute generale e non avevano precedenti di malattie cardiovascolari.

Durante la prima visita nel primo trimestre e nuovamente nel terzo trimestre, tutte le partecipanti hanno effettuato l'elettrocardiogramma di superficie standard a 12 derivazioni, registrati in condizioni tranquille dopo un periodo di riposo di 30 minuti. Gli ECG che presentavano artefatti significativi sono stati esclusi dall'analisi, mentre quelli rimanenti sono stati sottoposti a un'attenta valutazione da parte di due cardiologi esperti utilizzando uno scanner ad alta risoluzione [17].

Il periodo medio di follow-up è stato di sei mesi. Durante lo studio, sono stati esaminati diversi parametri, tra cui:

- Intervallo PR: questo intervallo è stato utilizzato come indicatore della conduzione atriale ed è stato espresso come il tempo trascorso tra l'insorgenza dell'onda P all'inizio del complesso QRS. È stato misurato nelle derivazioni in cui il PR era più breve.

- Intervallo QT: questo parametro è stato considerato come misura della durata dell'attivazione e del recupero ventricolare ed è stato calcolato come il tempo trascorso tra l'inizio del complesso QRS e la fine dell'onda T. È stato anche corretto (intervallo QT corretto) per la frequenza cardiaca utilizzando la formula di Bazett.
- Dispersione QT: questa misura è stata utilizzata per valutare il recupero ventricolare ed è stata determinata come la variazione degli intervalli QT. L'intervallo QT più lungo è stato valutato in specifiche derivazioni.
- Intervallo JT: questo parametro è stato considerato come un indicatore della ripolarizzazione ed è stato misurato dal punto terminale del complesso QRS alla fine dell'onda T.
- Intervallo RR: è stato calcolato come la durata temporale tra due complessi QRS sequenziali.
- Durata del QRS: questo dato è stato ottenuto misurando il complesso QRS più ampio nelle derivazioni.
- Segmento TP: utilizzato come indicatore della corretta linea di base della tensione, è stato definito come l'intervallo isoelettrico tra la fine dell'onda T e la successiva onda P.

Questo studio ha consentito di esaminare e confrontare queste diverse misurazioni e i loro cambiamenti durante la gravidanza, fornendo importanti dati sulla salute cardiaca delle donne in gravidanza e sulle variazioni elettrocardiografiche associate a questo periodo.

Analisi Statistica

Per analizzare i dati raccolti durante lo studio, sono state utilizzate diverse metodologie statistiche. Le variabili continue sono state esposte come media seguita dalla deviazione standard. Per confrontare le variabili qualitative, è stato impiegato il test T per campioni appaiati. Nel caso delle variabili quantitative, si utilizza il coefficiente di correlazione di Pearson. Per valutare la significatività statistica delle differenze, si sono avvalsi del test U di Mann-Whitney e del test Kruskal-Wallis H, considerando i risultati significativi quando il valore di p era inferiore a 0,05 [17].

Risultati

Questo studio ha coinvolto un totale di 96 donne in gravidanza idonea. La media di età delle partecipanti era di 28 anni, con una deviazione standard di 4,1. Tra queste, 39 (40,6%) erano al loro primo figlio, mentre 19 (19,7%) stavano vivendo la loro terza gravidanza. Nessuna

delle partecipanti aveva precedenti di aborto. L'indice di massa corporea medio è risultato essere di 23,10 kg/m2 nel primo trimestre e 28,01 kg/m2 nel terzo trimestre, con una differenza statisticamente significativa ($p<0,05$).

Nel corso dello studio, sono stati esaminati vari parametri elettrocardiografici nei primi e terzi trimestri di gravidanza, come riportato nella Tabella 1.

Tabella 1: indici elettrocardiografici nel primo e nel terzo trimestre (FC: frequenza cardiaca; SD: deviazione standard)

	Trimestre 1 Media ± SD	Trimestre 2 Media ± SD	Valore p
FC (bpm)	83,68	91,83	<0,001
Durata onda P	88 ±7	84±6	0,060
Intervallo PR	133,36±20,9	125,03±22,6	0,046
Intervallo QT	314,30±18,9	324,02±19,4	<0,001
Intervallo RR	717,74±91,14	653,43±108,45	<0,001
Intervallo JT	223,97±73,59	229,14±77,64	0,052
Durata QRS	90,21±28,91	94,97±10,79	0,027
Segmento TP	263,84±105,06	234,30±116,10	0,015

È importante notare che nessuno degli elettrocardiogrammi ha mostrato segni di aritmia, blocchi atrioventricolari, ischemia o infarto. La media della dispersione QT è stata di 64,04 ms nel primo trimestre e 63,10 ms nel terzo trimestre, con una differenza che non ha raggiunto la significatività statistica ($p=0,06$). Per quanto riguarda il QTc medio, è risultato essere di 384,03 ms nel primo trimestre e 393,20 ms nel terzo trimestre, con una differenza statisticamente significativa ($p=0,023$) [17].

Discussione

Si osservano significative variazioni nei parametri elettrocardiografici tra il primo e il terzo trimestre, sebbene tutti i valori rimanessero all'interno dei limiti di normalità.

Una delle principali scoperte di questo studio è stata la diminuzione della dispersione media degli intervalli RR, PR, TP e QT nell'ECG di superficie tra il primo e il terzo trimestre. Anche l'intervallo JT e la durata dell'onda P sono diminuiti, tuttavia questa differenza non è stata statisticamente significativa. L'aumento della frequenza cardiaca di circa 10 battiti al minuto è stato significativo e simile ai risultati di altri studi.

L'accorciamento dell'intervallo PR nel terzo trimestre ha suggerito un aumento della velocità di conduzione del nodo atrioventricolare, probabilmente dovuto all'incremento dell'attività simpatica. Al contrario, il prolungamento dell'intervallo QTc, sebbene possa essere associato

a rischi aritmici, non sembra comportare aritmie cardiache pericolose per la vita durante la gravidanza. Questo prolungamento del QTc è stato in linea con altri studi, ed è attribuito all'effetto del progesterone (ormone steroideo) sulla ripolarizzazione cardiaca.
La diminuzione significativa dell'intervallo TP nel terzo trimestre può essere spiegata dall'incremento della frequenza cardiaca. In generale, le variazioni osservate nei parametri elettrocardiografici durante la gravidanza sono considerate benigni adattamenti fisiologici.
È importante considerare che ulteriori ricerche con campioni più ampi e follow-up a lungo termine possono fornire una comprensione più completa di queste dinamiche.
In conclusione, questa indagine ha evidenziato variazioni nei parametri elettrocardiografici durante la gravidanza, ma ha anche sottolineato che queste variazioni rientrano generalmente nell'ambito delle normali modifiche fisiologiche. Ovviamente, un costante monitoraggio durante la gravidanza riveste un ruolo di fondamentale importanza [17].

3.2.2. Tipologie di aritmie durante la gravidanza

L'aritmia è una condizione clinica nella quale viene a mancare la normale frequenza o la regolarità del ritmo cardiaco. Le aritmie cardiache possono comparire per la prima volta nelle donne in gravidanza che non hanno una storia di malattie cardiache o in quelle con malattie cardiache preesistenti. Nel secondo caso, le aritmie già esistenti possono manifestarsi in modo più accentuato. Non è completamente chiaro come esattamente la frequenza e l'incidenza delle aritmie aumentino durante la gravidanza, ma sembra che le principali spinte siano legate alle modifiche precedentemente descritte del sistema cardiovascolare e ai cambiamenti emodinamici.
Nei diversi tipi di aritmie che posso verificarsi nel periodo gestazionale sono comprese le ***aritmie sopraventricolari***. La tachicardia sopraventricolare è genericamente un ritmo cardiaco ad alta frequenza che ha origine nella parte superiore del cuore, al di sopra dei ventricoli.
Durante la gravidanza, le aritmie sopraventricolari possono manifestarsi in varie forme:

- I battiti prematuri atriali sono comuni, solitamente asintomatici e considerati di natura benigna.
- La tachicardia parossistica sopraventricolare è la forma più frequente di tachiaritmia nelle donne senza problemi cardiaci strutturali. Le manifestazioni più comuni

includono la tachicardia da rientro nel nodo atrioventricolare e la tachicardia atrioventricolare reciprocante.

- La tachicardia atriale focale è rara e si verifica principalmente nelle donne in gravidanza con malattie cardiache strutturali. Questa forma di aritmia è spesso persistente, difficile da trattare, ma solitamente ben tollerata e tende a risolversi dopo il parto [18].

Le caratteristiche di un battito sopraventricolare sono rese ben visibili dall'elettrocardiogramma [figura 13], in cui si può osservare un intervallo RR corto seguito da uno lungo e un'onda P prematura seguita, nella maggior parte dei casi, da un complesso QRS normale. L'onda P del battito sopraventricolare spesso differisce dall'onda P tipica di un ritmo cardiaco regolare, poiché l'impulso che causa il battito prematuro origina al di fuori del normale punto di partenza nel cuore, noto come nodo senoatriale. Questo porta a una sequenza di attivazione degli atri che è diversa dalla norma, e questa differenza è evidenziata dalle caratteristiche distintive dell'onda P associata al battito prematuro. Tuttavia, a differenza dell'onda P, l'aspetto dei complessi QRS (che rappresentano l'attivazione dei ventricoli) solitamente appare simile a quelli dei battiti cardiaci normali, poiché l'impulso si propaga attraverso il normale sistema di conduzione ventricolare. Durante un episodio di tachicardia sopraventricolare, si potrebbe percepire una sensazione di vuoto.



Figura 13: Tracciato ECG di un battito prematuro di origine sopraventricolare

Le aritmie sopraventricolari costituiscono un gruppo che si contrappone alle più pericolose ***aritmie ventricolari***. Quest'ultime sono caratterizzate da una frequenza ventricolare elevata, con un limite indicativo minimo di 100-150 battiti per minuto.

Le aritmie ventricolari possono manifestarsi in diverse forme durante la gravidanza:

- Le contrazioni premature ventricolari sono comuni in gravidanza ma solitamente non causano sintomi significativi e sono considerate innocue.
- La tachicardia ventricolare e la fibrillazione ventricolare sono raramente osservate durante la gravidanza e molto più pericolose. Tuttavia, quando si verificano, è più probabile che colpiscano le donne con problemi cardiaci strutturali o con una storia

pregressa. Le donne con cardiomiopatie ereditarie sono più predisposte a sviluppare tachicardia ventricolare durante la gravidanza [18].

Il battito ventricolare ha origine nei ventricoli, invece che nel nodo seno atriale. Per tale ragione la sua morfologia è completamente differente rispetto al battito normale, ed è quindi facilmente riconoscibile nel tracciato elettrocardiografico.

Un battito prematuro ventricolare [figura 14] non ha un'onda P ed il complesso QRS risulta allargato con una morfologia diversa rispetto ad un normale battito cardiaco.

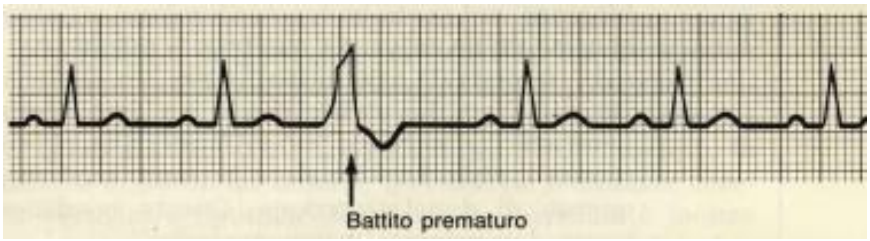


Figura 14: Tracciato ECG di un battito prematuro ventricolare

Se, diversamente, il tracciato elettrocardiografico presenta frequenti complessi QRS che sono ampi e irregolari e con le onde T che vanno generalmente nella direzione opposta rispetto alla parte principale del complesso QRS [figura 15], e se la frequenza cardiaca è elevata, variando tra 140 e 250 battiti al minuto, allora si parla di tachicardia ventricolare.

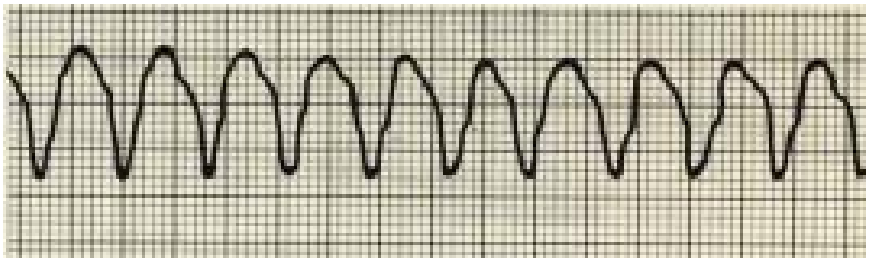


Figura 15: Tracciato ECG in caso di tachicardia ventricolare

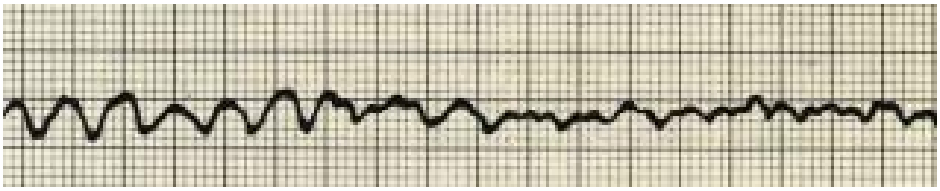


Figura 16: Tracciato ECG in caso di fibrillazione ventricolare

La fibrillazione ventricolare, invece, è una condizione in cui i ventricoli del cuore subiscono una depolarizzazione caotica, che si traduce nell'assenza di complessi QRS organizzati nell'ECG [figura 16]. Questo stato è associato a un arresto circolatorio repentino, che provoca una perdita immediata della coscienza e può portare alla morte in pochi minuti.

Pertanto, è di vitale importanza avviare prontamente la rianimazione cardiopolmonare, mentre si attende l'applicazione della defibrillazione elettrica.

Durante la gravidanza, meno comuni sono episodi di ***fibrillazione atriale***, che deriva da una depolarizzazione casuale e caotica degli atri, e il ***flutter atriale***, caratterizzato da onde rapide ed oscillanti denominate onde F. Tuttavia, è importante notare che queste condizioni sono più comuni nelle donne con problemi cardiaci strutturali o disturbi metabolici come l'ipertiroidismo e squilibri elettrolitici. Queste donne presentano un rischio significativamente aumentato di tromboembolia durante la gravidanza a causa del loro stato di coagulazione più pronunciato in questo periodo [18].

3.1.3 Diagnosi e trattamento

L'approccio al trattamento delle aritmie cardiache nelle donne in gravidanza segue linee simili a quelle applicate alle donne non in gravidanza. La decisione terapeutica durante la gravidanza è basata sulla condizione cardiaca preesistente, la gravità dei sintomi e l'età gestazionale. È fondamentale evitare l'uso di determinati farmaci antiaritmici soprattutto durante il primo trimestre, a causa della tossicità fetale, e mantenere un monitoraggio attento della paziente sia durante la gravidanza che nel periodo postpartum. La scelta degli agenti farmacologici dipende dalla necessità di un trattamento immediato o a lungo termine. Di solito, le aritmie considerate benigne non richiedono trattamento, e si dovrebbe evitare l'uso di procedure invasive che coinvolgono la fluoroscopia [18].

4. ANALISI DELLA FREQUENZA CARDIACA MATERNA IN RELAZIONE ALL'ETA' GESTAZIONALE

L'obiettivo primario della tesi è quello di andare ad analizzare la variazione della frequenza cardiaca materna nell'arco delle settimane di gestazione tramite l'acquisizione del segnale

elettrocardiografico. Tramite l'analisi di tale segnale è possibile notare se vi sono dei cambiamenti di alcuni parametri elettrocardiografici rispetto ad un tracciato di un paziente sano, in modo da poter stimare il benessere della madre.

4.1 Database

Come più volte descritto, un normale tracciato ECG di un individuo sano è un esame diagnostico che rispecchia il comportamento dell'attività elettrica del cuore.

Il database esaminato è costituito da 24 registrazioni dei segnali ECG di una donna incinta acquisiti ogni settimana, in particolare dalla sedicesima settimana fino alla quarantesima settimana di gestazione. La derivazione selezionata in questo studio è la prima. Queste acquisizioni materne sono state effettuate nel Cardiovascular Bioengineering Lab dell'Università Politecnica delle Marche, in Ancona. Tali segnali sono stati acquisiti tramite uno strumento uno strumento specifico chiamato MR12. Questo dispositivo è stato configurato per acquisire i segnali ECG a 12 derivazioni e offre una comunicazione bidirezionale tramite Bluetooth che permette la trasmissione dei dati in tempo reale a PC e dispositivi mobili basati su Android.

4.2 Analisi

Per valutare la dipendenza dei parametri elettrocardiografici in relazione all'età gestazionale è stata utilizzata la piattaforma di programmazione Matlab. Come prima operazione le 24 registrazioni ECG a 12 derivazioni, provenienti dal database, sono state scaricate, sono state messe in seguito su una cartella e poi caricate su Matlab. Si definisce la frequenza di campionamento. La frequenza di campionamento è di 1000 Hz.

Il procedimento poi consiste, dopo aver sottratto la media ad ogni segnale caricato, nel ricampionare i segnali ad una nuova frequenza di campionamento di 200 Hz.

Successivamente ciascun segnale viene filtrato tramite un filtro, nello specifico un Filtro Butterworth del 3° ordine, con frequenza di taglio a 0,5 Hz e a 45 Hz in modo da eliminare il più possibile il rumore da e mantenere solo le componenti fondamentali del segnale ECG. Poiché, come si è detto, più volte, l'obiettivo dello studio è il calcolo delle frequenze cardiache relativo ad ogni segnale acquisito nelle varie settimane di gestazione, è necessario andare innanzitutto a determinare la posizione dei picchi R. Per farlo si utilizza l'algoritmo dei Pan-Tompkins, un algoritmo largamente usato per rilevare i picchi principali nei segnali

ECG, cioè i complessi QRS. L'algoritmo applica una serie di filtri per evidenziare il contenuto in frequenza della depolarizzazione cardiaca, rappresentata proprio dal complesso QRS, e rimuovere il rumore di fondo. Successivamente, tale algoritmo quadra (valori negativi vengono trasformati in positivi) ed integra il segnale su una finestra temporale per

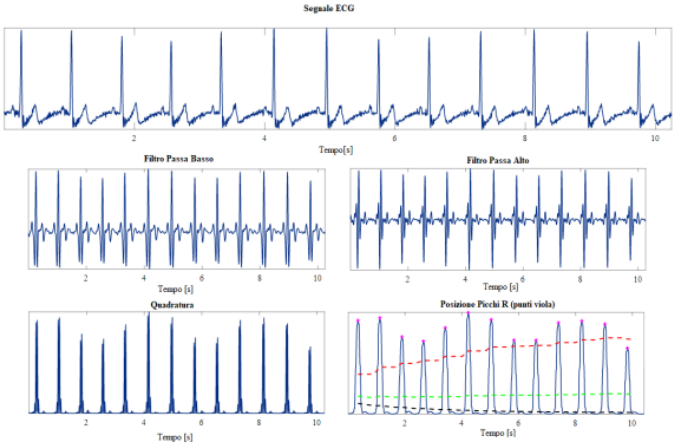


Figura 17: esempio di processo dell'algoritmo di Pan-Tompkins

amplificare il contributo QRS, il che rende l'identificazione dello stesso più semplice. Infine, viene applicata una soglia al segnale integrato per identificare i potenziali picchi R. Quando il segnale supera la soglia, si presume che sia presente un picco R sul segnale filtrato [figura 17].

Nella pratica, tale funzione ci restituisce un vettore contenente le posizioni dei picchi R dei segnali ECG considerati. L'intervallo temporale tra due picchi R adiacenti è strettamente correlato alla frequenza cardiaca. Essa è definita come il numero di battiti che il cuore compie in un minuto (bpm). Quindi, successivamente, si calcolano gli intervalli tra due picchi successivi, chiamati intervalli RR (tempo tra due battiti cardiaci consecutivi). Tali intervalli sono stati calcolati con la sottrazione della posizione di un picco R con la posizione del picco R immediatamente precedente. I valori, poi, di RR sono stati salvati in un nuovo vettore. In seguito, si calcolano gli intervalli medi di RR ed infine le frequenze cardiache medie relative ad ogni segnale dei 24 segnali che si hanno a disposizione tramite la seguente formula: $HR(bpm) = \frac{60}{mediaRR(s)}$.

4.3 Risultati

Dopo aver applicato tutti i passaggi descritti precedentemente, si arriva al calcolo della frequenza cardiaca relativa rispettivamente ai segnali ECG di una donna incinta, acquisiti dalla sedicesima alla quarantesima settimana, per un totale di 24 segnali. Nella tabella 2 vengono riportati i diversi valori del battito cardiaco materno inerenti ognuno alle relative settimane di gestazione.

ETA' GESTAZIONALE (settimana)	*FREQUENZA CARDIACA (bpm)*
16°	72
17°	74
18°	73
19°	95
20°	120
21°	82
22°	109
23°	108
24°	95
26°	86
27°	85
28°	106
29°	131
30°	74
31°	83
32°	77
33°	74

34°	74
35°	99
36°	79
37°	75
38°	92
39°	81
40°	83

Tabella 2: frequenza cardiaca materna in relazione alle settimane di gestazione

In aggiunta, per osservare ed evidenziare la posizione dei picchi R di un segnale ECG si può scegliere uno di questi segnali e lo si va a riportare in un grafico tramite la funzione plot di Matlab. In questo caso è stato scelto il segnale ECG relativo alla trentaseiesima settimana di gestazione in cui è stata selezionata la prima derivazione [figura 18].

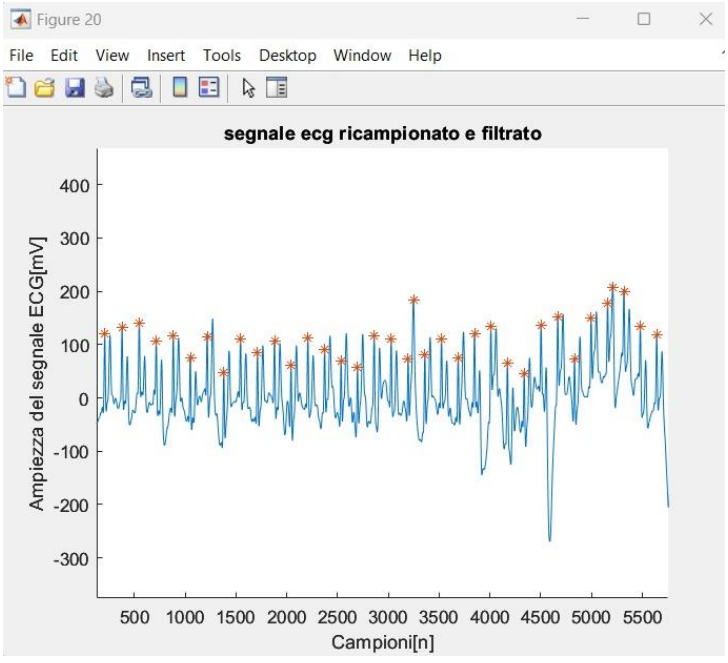


Figura 18: segnale ECG relativo alla trentaseiesima settimana di gestazione

4.4 Discussione

Questa analisi ci ha permesso di andare a valutare la variazione della frequenza cardiaca nel corso delle quaranta settimane di gestazione e, di conseguenza, valutare lo stato di salute del cuore della donna incinta presa in esame. Come detto in precedenza, durante la gravidanza si verifica un incremento della frequenza cardiaca materna (di circa 10-20 battiti al minuto) il quale aiuta a mantenere l'aumento complessivo della quantità di sangue pompata dal cuore. In effetti come ci si aspettava, tramite questo studio si osservano dei valori di frequenza cardiaca che aumentano leggermente con il trascorrere delle settimane. Come si evidenzia nella Tabella 2, i valori più alti della frequenza cardiaca si registrano nella ventesima e nella ventinovesima settimana di maternità (120/131 bpm); tuttavia, si può affermare che tutti valori del battito cardiaco materno, relativi ognuno alle quaranta settimane di gestazione, rientrano nell'intervallo di valori di frequenza cardiaca dei soggetti sani.

Un limite che può essere individuato in questo esame è che le acquisizioni effettuate riguardano un unico paziente, pertanto i valori ottenuti non rappresentano un modello universale quanto più un modello limitato al singolo paziente privo di patologie.

Per ottenere un modello universale occorre effettuare le acquisizioni elettrocardiografiche nelle diverse settimane di maternità su un numero elevato di donne gravide e non su una singola persona.

In conclusione, si può affermare che la rilevazione della frequenza cardiaca materna tramite l'analisi automatica dell'elettrocardiogramma addominale e il metodo di Pan-Tompkins risulta essere un metodo robusto, non invasivo ed altamente efficace per monitorare con costanza il battito cardiaco materno e per rivelare tempestivamente eventuali anomalie, contribuendo in modo significativo alla tutela della salute della gestante.

CONCLUSIONE

Lo scopo del nostro studio è andare ad analizzare la corrispondenza tra il battito cardiaco materno e il numero di settimane di gravidanza, tramite l'analisi automatica dell'elettrocardiogramma addominale eseguito ogni sette giorni per un totale di quaranta settimane. In particolare, si va ad osservare come varia la frequenza cardiaca del battito materno nell'arco dei nove mesi di gestazione.

Tramite tale analisi si dimostra chiaramente l'importanza del monitoraggio regolare della frequenza cardiaca materna durante il periodo gestazionale. L'osservazione di un aumento graduale della frequenza cardiaca materna nel corso delle 40 settimane di gravidanza, con un incremento medio di 10-20 bpm, offre una prospettiva interessante sulla fisiologia della gravidanza. È fondamentale sottolineare che tali variazioni nella frequenza cardiaca materna rimangono all'interno dei limiti riconosciuti come "normali" dalla pratica clinica. Ciò risulta essere di particolare rilevanza poiché suggerisce che il cuore materno è in grado di adattarsi in modo fisiologico alle crescenti esigenze metaboliche e al cambiamento del volume sanguigno durante la gravidanza. Tuttavia, le leggere fluttuazioni potrebbero ancora fornire preziose informazioni sul benessere della madre e del feto.

Le implicazioni cliniche di questi risultati sono significative. Il monitoraggio costante della frequenza cardiaca materna può essere utilizzato come uno strumento prezioso per identificare e prevenire potenziali complicazioni o disturbi durante la gravidanza, consentendo interventi tempestivi.

La pratica di monitoraggio attuata in questo studio risulta essere altamente efficiente per tenere sotto controllo la variabilità del ritmo cardiaco materno e salvaguardare il benessere della futura madre.

In futuro, ulteriori ricerche potrebbero approfondire ulteriormente questo argomento, cercando di comprendere meglio le cause fisiologiche di queste variazioni e la loro relazione con specifiche condizioni mediche. Tale ricerca rappresenta solo un primo passo nel tentativo di comprendere i complessi meccanismi che regolano la frequenza cardiaca materna durante la gravidanza.

In definitiva, la frequenza cardiaca materna rappresenta un importante indicatore della salute durante la gravidanza, e la sua monitorizzazione regolare può contribuire significativamente al benessere della futura madre e del nascituro.

BIBLIOGRAFIA

[1] Keith L. Moore, T. V. Persaud, Mark G. Torchia. *Lo sviluppo prenatale dell'uomo. Embriologia ad orientamento clinico.* Edra, 2020

[2] M. Saridi, A. Toska, D. Latsou, M. Chondropoulou, A. Matsioula, P. Sarafis. *Assessment of quality of life and psycho-emotional burden in pregnant women in Greece*. Eur J Midwifery (2022); 6: 13.

[3] Kenneth S. Saladin. *Anatomia Umana*. Piccin-Nuova Librar, 2017.

[4] Birnholz JC. *Gestational age*. AJR Am J Roentgenol (1984); 142: 849-50.

[5] Kelli K. Ryckman, Stanton L. Berberich and John M. Dagle. *Predicting gestational age using neonatal metabolic markers.* Am J Obstet Gynecol (2016); 214: 515–515.

[6] Ribeiro M, Andrade A, Nunes I. *Physical exercise in pregnancy: benefits, risks and prescription*. Journal of Perinatal Medicine (2022); 50: 4-17.

[7] Rhiannon Emma Carpenter, Simon J. Emery, Orhan Uzun, Lindsay A. D'Silva, and Michael J. Lewis. *Influence of antenatal physical exercise on haemodynamics in pregnant women: a flexible randomisation approach.* BMC Pregnancy Childbirth (2015); 15: 186.

[8] Aleksandra Obuchowska, Arkadiusz Standyło, Żaneta Kimber-Trojnar, and Bożena Leszczyńska-Gorzelak. *The Possibility of Using Bioelectrical Impedance Analysis in Pregnant and Postpartum Women*. Diagnostics (Basel) (2021); 11: 1370.

[9] Adetoun O. Soyemi , Oladipo A. Sowunmi , Sunday M. Amosu e Emmanuel O. Babalola. *Depression and quality of life among pregnant women in first and third trimesters in Abeokuta: A comparative study.* S Afr J Psychiatr (2022); 28: 1779.

[10] Atefeh Ghanbari Khanghah , Zahra Bostani Khalesi , 1e Rad Hassanzadeh Afagh. *The importance of depression during pregnancy*. JBRA Assist Reprod (2020); 24: 405–410.

[11] Jasmine F Plows, Joanna L Stanley, Philip N Baker, Clare M Reynolds e Mark H Vickers. *The Pathophysiology of Gestational Diabetes Mellitus.* Int J Mol Sci (2018); 19: 3342.

[12] Elizabeth A. Phipps , Ravi Thadhani , Thomas Benzing e S. Ananth Karumanchi. *Pre-eclampsia: pathogenesis, novel diagnostics and therapies.* Nat Rev Nefrolo (2019); 15: 275–289.

[13] Carl H. Backes , Kara Markham , Pamela Moorehead , Leandro Cordero , Craig A. Nankervis e Peter J. Giannone. *Maternal Preeclampsia and Neonatal Outcomes*. J Pregnancy. (2011).

[14] Orwell Nathan. *Interpretazione dell'ECG.* Youcanprint, 2022.

[15] Priya Soma-Pillay, Nelson-Piercy Catherine, Heli Tolppanen, Alexandre Mebazaa, Heli Tolppanen e Alexandre Mebazaa. *Physiological changes in pregnancy.* Cardiovasc J Afr. (2016); 27(2): 89–94

[16] Kamala P. Tamirisa, Uri Elkayam , Joan E. Briller , Pamela K. Mason, Jayasree Pillarisetti, Faisal M. Merchant, Hena Patel, Dhanunjaya R. Lakkireddy, Andrea M. Russo, Annabelle Santos Volgman, Marmar Vaseghi. *Arrhythmias in Pregnancy.* JACC: Clinical Electrophysiology (2022); 8: 120-135

[17] Negar Omidi, Mohammadrafie khorgami, Farnaz khatami, Mehrdad Mahalleh. *Electrocardiographic indices and pregnancy: A focus on changes between first and third trimesters*. Revista Portuguesa de Cardiologia (2022); 41: 43-47

[18] Payam Safavi-Naeini , Naseem Zarah Sorurbakhsh e Mehdi Razavi. Cardiac *Arrhythmias During Pregnancy.* Tex Heart Inst J (2021).