



LISBOA

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA



FACULDADE DE  
**MEDICINA**  
LISBOA

# **TRABALHO FINAL**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA**

---

Clínica Universitária de Obstetrícia e Ginecologia

### **Aplicabilidade da Eletrocardiografia Fetal Transabdominal**

Tiago Filipe Rodrigues Baptista

**Orientado por:**

Dr<sup>a</sup>. Catarina Reis de Carvalho

---

**Maio'2022**

## **Abreviaturas, acrónimos e siglas**

AMO – *amplitude of mode*

bpm- Batimentos por minuto

CIUP- Cateter intrauterino de pressão

CR- *Confusion rate*

CTG – Cardiotocografia

DGGG- *German society of Gynecologists and Obstetrics (Sociedade Alemã Ginecologia e Obstetrícia)*

ECG- eletrocardiografia

ECG-TA - Eletrocardiografia transabdominal

EHG- Eletrohisterografia

FCf- Frequência cardíaca fetal

FIGO- *International Federation of Gynecology and Obstetrics*

FMUL –Faculdade de Medicina Universidade de Lisboa

FSE- *Fetal scalp electrode*

HF- *High frequency*

ICC- intraclass correlation coefficient (coeficiente de correlação intraclass)

IMC- Índice de massa corporal

LF- *Low frequency*

LTV- *long term variability* (variabilidade a longo prazo)

MHR/FHR- *Maternal heart rate / Fetal heart rate*

LIG- Leve para a idade gestacional

PPA- *Positive percent agreement* (percentagem positiva de concordância)

PRSA- *Phase rectified signal averaging*

RCF- Restrição de crescimento fetal

RMSSD- *root mean square of the successive differences of RR intervals*

SI- *Stress index*

SDNN- *standard deviation of normal to normal intervals*

STFF- Síndrome de transfusão feto-fetal

STV- *short term variability* (variabilidade a curto prazo)

TOCO- Tocografia

## **Agradecimentos**

Os meus agradecimentos vão para Dr<sup>a</sup> Catarina Carvalho, orientadora deste trabalho final de mestrado, pela sua disponibilidade, apoio e orientação ao longo do mesmo.

Agradeço também à minha família pelo suporte, carinho e dedicação ao longo deste percurso.

## RESUMO

**Contexto:** A eletrocardiografia fetal transabdominal tem sido objeto de estudo nos últimos anos nas diversas aplicações clínicas tanto a nível intraparto e anteparto. Esta metodologia de monitorização fetal consiste na aplicação de elétrodos cutâneos no abdômen materno com o objetivo de detetar sinais eletrocardiográficos fetais e sinais elétricos refletindo a contratilidade uterina, porém ainda não é amplamente utilizada na prática clínica, pelo que urge conhecer as suas várias aplicações e potencialidades.

**Objetivo:** Rever o potencial e a aplicabilidade da ECG-TA no período do anteparto e intraparto.

**Métodos:** Efetuou-se uma revisão sistemática da base de dados MEDLINE/PUBMED entre 2000-2021, utilizando palavras-chave como *fetal electrocardiogram; transabdominal fetal ecg; trans-abdominal fetal ecg; noninvasive fetal electrocardiogram; taECG;* entre outras similares. Foram incluídas revisões sistemáticas, estudos retrospectivos e prospetivos e ainda estudos aleatorizados.

**Resultados:** Dos 603 artigos inicialmente encontrados, apenas 52 foram incluídos nesta revisão. Relativamente ao anteparto a ECG-TA parecer ser promissor no diagnóstico pré-natal de cardiopatias, na identificação de sofrimento fetal na pré-eclâmpsia e restrição de crescimento fetal, na sua capacidade em diferenciar a FCf em gravidezes múltiplas e também nas suas potencialidades a nível de ambulatório. No intraparto a ECG-TA tem uma tendência para ser superior à CTG em grávidas obesas, na sua acuidade, na taxa de sucesso, na perda de sinal, na taxa de confusão materna, na fiabilidade, na satisfação das grávidas e na monitorização das contrações uterinas.

**Conclusões:** A ECG-TA é método promissor na sua utilização tanto a nível de anteparto e intraparto nos vários aspetos discutidos no trabalho, contudo estudos de com poder estatístico superior são necessários à sua implementação na prática clínica.

**Palavras-chave:** Eletrocardiografia fetal transabdominal, monitorização fetal, intraparto, anteparto, aplicabilidade.

“O Trabalho Final é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não cabendo qualquer responsabilidade à FMUL pelos conteúdos neles apresentados.”

## **ABSTRACT**

**Context:** Transabdominal fetal electrocardiography has been the subject of study in recent years in various clinical applications both intrapartum and antepartum. This methodology of fetal monitoring consists of the application of skin electrodes on the maternal abdomen in order to detect fetal electrocardiographic and electrical signals reflecting uterine contractility, but it is not yet widely used in clinical practice, so it is urgent to know its various applications and potentialities.

**Objective:** To review the potential and applicability of TA-ECG in the antepartum and intrapartum period.

**Methods:** A systematic review of the MEDLINE/PUBMED database was performed between 2000-2021, using keywords such as fetal electrocardiogram; fetal transabdominal ecg; fetal trans-abdominal ecg; noninvasive fetal electrocardiogram; taECG; among other similar ones. Studies included were systematic reviews, retrospective and prospective studies and randomized studies.

**Results:** Of the 603 articles initially found, only 52 were included in this review. Regarding antepartum, the ECG-TA seems to be promising in the prenatal diagnosis of heart diseases, in the identification of fetal distress in preeclampsia and fetal growth restriction, in its ability to differentiate fetal heart rate in multiple pregnancies and also in its potential at the ambulatory applications. In intrapartum, ECG-TA has a tendency to be superior to CTG in obese pregnant women, in its acuity, success rate, signal loss, maternal confusion rate, reliability, pregnant satisfaction and contraction monitoring. uterine

**Conclusions:** The ECG-TA seems to be a promising method in its use both at the antepartum and intrapartum levels in the various aspects discussed in this work, however studies with higher statistical power are necessary for its implementation in clinical practice.

**Keywords:** Transabdominal fetal electrocardiography, fetal monitoring, intrapartum, antepartum, applicability

“The author takes full responsibility for the final work, and the FMUL is not responsible for the contents presented therein.”

## ÍNDICE

<b>CONTEXTO .....</b>	<b>8</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
<b>1. ANTEPARTO.....</b>	<b>11</b>
1.1. GRAVIDEZ MÚLTIPLA .....	11
1.2. UTILIZAÇÃO EM AMBULATÓRIO .....	12
1.3. QUALIDADE DO SINAL.....	14
1.4. RESTRIÇÃO DE CRESCIMENTO FETAL.....	16
1.5. FETOS DE MUITO BAIXO PESO / IDADES GESTACIONAIS PRECOCES.....	17
1.6. PRÉ-ECLÂMPsia .....	18
1.7. DIAGNÓSTICO PRÉ-NATAL DE CARDIOPATIAS.....	19
1.8. OUTRAS MENÇÕES RELEVANTES .....	21
<b>2. INTRAPARTO .....</b>	<b>23</b>
2.1. ACUIDADE .....	23
2.2. TAXA DE SUCESSO E PERDA DE SINAL .....	24
<b>2.2.1. Taxa de sucesso.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2. Perda de sinal .....</b>	<b>25</b>
2.3. TAXA DE CONFUSÃO FETO-MATERNA.....	26
2.4. FIABILIDADE .....	26
2.5. SATISFAÇÃO .....	27
2.6. IMC.....	28
2.7. MORFOLOGIA ELETROCARDIOGRÁFICA .....	29
2.8. CONTRAÇÕES UTERINAS.....	29
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>32</b>

## CONTEXTO

A monitorização fetal assume importância extrema na avaliação clínica do bem-estar fetal. Permite a deteção precoce de complicações no decurso da gravidez e durante o trabalho de parto. Atualmente o método mais utilizado é a cardiotocografia (CTG). Este método permite o registo da frequência cardíaca fetal através da tecnologia de Doppler. Contudo, apresenta limitações como baixa especificidade na deteção de hipoxia/acidose fetal, perda de sinal por mobilização materna/fetal e performance diminuída nas gestações pré-termo, gravidez múltipla e nas grávidas com índice de massa corporal elevado (Vullings & van Laar, 2020). A CTG contínua é um método globalmente aceite pela sociedade científica internacional, mas não existem estudos que tenham permitido demonstrar uma redução tanto na incidência da mortalidade perinatal, como na ocorrência de paralisia cerebral (Alfirevic et al., 2017; Ayres-de-Campos et al., 2015).

Outro método para obter a frequência cardíaca fetal, considerado o *gold-standard*, é a monitorização através do elétrodo no escalpe fetal que permite obter de forma mais fidedigna a frequência cardíaca fetal. Este método regista sinal eletrocardiográfico obtido através de um dispositivo aplicado na cabeça do feto. É importante realçar que este método além de invasivo e de poder apresentar, raramente, complicações inerentes a este aspeto como hemorragia, infeção entre outras, apenas pode ser utilizado intraparto após a rotura de membranas e na ausência de outras contra-indicações (Lemperzs et al., 2020).

Tendo estes aspetos em consideração, esforços no sentido de encontrar outras técnicas de monitorização têm sido efetuadas ao longo dos anos, de forma a encontrar um método fidedigno e não invasivo.

A eletrocardiografia fetal transabdominal tem sido objeto de estudo nos últimos anos nas diversas aplicações clínicas tanto a nível intraparto e anteparto. Esta nova metodologia consiste na aplicação de elétrodos cutâneos no abdómen materno com o objetivo de detetar sinais eletrocardiográficos fetais e sinais elétricos refletindo a atividade das células miométriais - eletrohisterografia. Isto é possível através da

aquisição do sinal elétrico que é posteriormente processado através de sistemas informáticos que visam a separação do ECG materno do fetal (Hadar et al., 2015). Diversas metodologias de aquisição, filtragem e processamento estão descritas na literatura, sendo ainda hoje alvo de estudo e otimização (Kahankova et al., 2020). A aquisição de um traçado eletrocardiográfico permite não só obter a frequência cardíaca fetal como também informações sobre o ritmo e alterações nos diversos segmentos, isto poderá facilitar na obtenção de uma ampla gama de medidas complementares de diagnóstico, podendo estas ser promissoras da identificação de problemas a nível pré-natal e no peri-parto (J. A. Behar et al., 2019).

Esta técnica apresenta algumas características promissoras relativamente à técnica mais utilizada, a CTG, no entanto ainda não é amplamente utilizada na prática clínica, pelo que urge conhecer as suas várias aplicações e potencialidades.

Assim sendo, torna-se importante colocar a questão: Qual a diferença e potenciais vantagens e desvantagens da utilização da eletrocardiografia transabdominal face ao uso do método tradicional da CTG?

Desta forma, este trabalho tem como objetivo caracterizar a tecnologia da eletrocardiografia fetal transabdominal, a sua aplicabilidade ante e intraparto na monitorização fetal, através de evidencia científica encontrada na literatura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura publicada na base de dados eletrónica MEDLINE/PUBMED, entre 2000 e 2021, utilizando as seguintes palavras-chave: *fetal electrocardiogram; foetal eletrocardiogram; fetal ECG; fetal electrocardiography; transabdominal fetal ecg; trans-abdominal fetal ecg; noninvasive fetal electrocardiogram; fECG; taECG; abdominal fetal electrocardiogram*. Foram incluídos artigos de revisão sistemática, estudos clínicos retrospectivos, estudos prospetivos, estudos clínicos aleatorizados, estudos de caso-controlo e meta-análises, excluindo-se *case reports*. Foram incluídos apenas artigos originais, escritos em inglês e português. Os artigos foram inicialmente selecionados pelo título, numa segunda fase pelo resumo e, quando se considerou adequado, abordou-se o texto integral. Na Fig. 1 pode observar-se um diagrama da inclusão dos estudos. Na abordagem aos estudos incluídos foi depois realizada uma separação entre as aplicações no anteparto e no intraparto, considerando-se as principais medidas de interesse as taxas de sucesso e acuidade da metodologia TA-ECG.

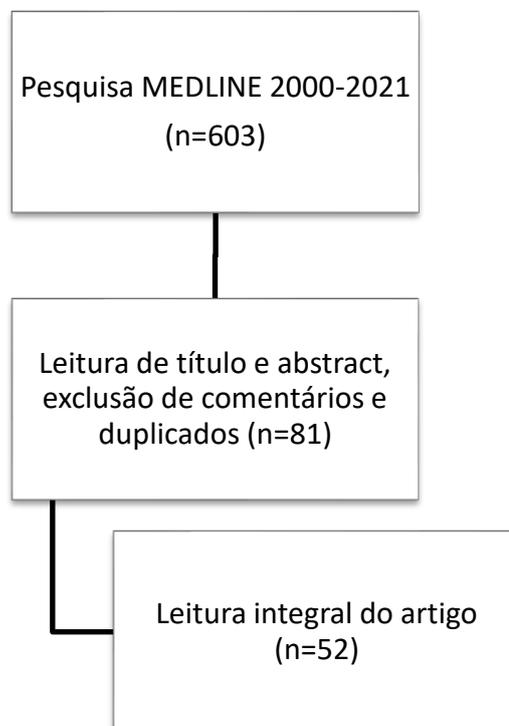


Figura 1. Diagrama dos estudos incluídos

## 1. ANTEPARTO

Nesta secção são revistas as aplicações mais relevantes, descritas na literatura, do TA-ECG no período do anteparto. Serão revistas as aplicações na gravidez múltipla, em ambulatório, na restrição de crescimento fetal, na pre-eclâmpsia e no diagnóstico pré-natal de cardiopatias.

### 1.1. GRAVIDEZ MÚLTIPLA

Noben et al. (2020) demonstrou ser possível através do ECG-TA monitorizar individualmente cada feto numa gravidez múltipla, tanto pela obtenção da FCf como pela obtenção da morfologia do traçado eletrocardiográfico. Para o efeito foram realizados múltiplos registos numa grávida de 25 semanas com gémeos dicoriónicos-diamnióticos. Também C. Velayo et al. (2012), através de uma amostra de cinquenta e uma grávidas entre as 16 e as 27 semanas de gestação, evidenciou a exequibilidade na obtenção de um complexo P-QRST durante o período pré-natal, assim como a utilidade de determinados parâmetros do ECG em diferenciar o feto recetor e dador em gravidezes afetadas pela síndrome de transfusão feto-fetal (STFF). O complexo P-QRST foi identificado em 100% da amostra. Observou-se um prolongamento do intervalo QT e QTc significativo nas gravidezes STFF comparativamente a gravidezes múltiplas não STFF e fetos únicos. O intervalo PR e o rácio PR/RR estavam significativamente aumentados no feto afetado na gravidez STFF. Não foram observadas diferenças significativas para outros intervalos eletrocardiográficos. Comparativamente aos índices obtidos por doppler, encontraram-se correlações significativas entre nível do índice de pulsatilidade do ducto venoso e o intervalo QT ( $r=0.552$ ,  $p=0.041$ ), assim como uma correlação entre a pulsatilidade da artéria umbilical e o rácio PR/RR ( $r=0.654$ ,  $p=0.011$ ), em fetos afetados pela STFF.

Anteriormente, Taylor et al. (2003) realçaram a capacidade do ECG-TA em realizar a separação do fECG em gravidezes múltiplas de dois e três fetos, obtendo taxas de sucesso de 78% (91/116) e 93% (14/15) respetivamente. Tanto nas gravidezes de dois fetos, como nas de três foi possível identificar as ondas PQRS, enquanto a onda

T só foi possível ser identificada em 59% das gravidezes de dois fetos e 57% nas de três fetos.

## 1.2.UTILIZAÇÃO EM AMBULATÓRIO

A potencialidade da aplicação da eletrocardiografia transabdominal fetal, através aplicação método do ECG-TA em grávidas no domicílio foi alvo de curiosidade e estudo por parte de diversos autores. Kapaya et al. (2019) obteve registos em ambulatório através do ECG-TA, nos quais verificou uma maior fiabilidade na aquisição do sinal durante o período noturno, facto que associa à diminuição da mobilidade materna durante o sono. Kapaya et al. realizou também um questionário de forma a avaliar a opinião das mulheres sobre o método em aspetos com conforto, sono, marcas na pele e se usariam o método novamente e de forma geral a opinião foi otimista. Este aspeto foi avaliado através de um questionário em que os parâmetro em avaliação eram classificados numa escala de um a dez, sendo o um classificado como perfeito e o dez classificado como muito mau. As classificações de cada parâmetro oscilaram entre o dois e o seis, tendo sido obtidas medianas com classificação de 2 e 3. Doshi et al. (2019) e Crawford et al. (2018) corroboram o estudo anterior através da obtenção de resultados positivos a nível de taxa de sucesso (91% e 86.3%, respetivamente) na aquisição do sinal por monitorização em ambulatória.

Crawford et al. (2018), interessou-se pela satisfação das grávidas monitorizadas no domicílio e realizou uma entrevista para avaliar a experiência destas mulheres. Relatou, em geral, uma experiência satisfatória, contudo sem impacto positivo ou negativo na ansiedade materna. Foram valorizados positivamente aspetos como a mobilidade e a capacidade de monitorização durante atividades básicas diárias. Schramm et al. (2018), através de um estudo caso-controlo, avaliou a aceitação de 106 mulheres na utilização de uma monitorização à distância com o ECG-TA. As grávidas foram instruídas a responder ao questionário sobre a monitorização fetal não invasiva, sendo que um grupo foi exposto à monitorização por ECG-TA e o grupo de controlo não. De forma geral, houve opiniões favoráveis sobre o conforto, estabilidade e a

possibilidade de monitorização no ambulatório oferecendo à grávida uma forma de percepção do bem-estar fetal sem terem necessariamente de recorrer aos cuidados de saúde. Apesar desta boa aceitação do dispositivo todas as mulheres referem uma necessidade de segurança e fiabilidade no dispositivo. Também Kapaya et al. (2018) estudou a opinião das grávidas utilizando o fECG em ambulatório durante longos períodos em fetos pequenos para a idade gestacional (Peso <P10). Foram realizados 35 questionários na primeira utilização e 24 após uma segunda utilização e verificou uma aceitação positiva do dispositivo (aceitação de 90% e uma mediana de 10 horas de monitorização). Quanto aos resultados qualitativos referentes às opiniões das grávidas elas salientaram a praticidade da ECG-TA comparativamente à CTG em questões de conforto na mobilidade e liberdade. Ainda que pudesse haver algum desconforto, por questões relacionadas com fios, irritação da pele ou prurido a necessidade imperiosa de monitorização fetal incutia nas grávidas a capacidade de ignorar tais problemas. Estes desconfortos, ainda que toleráveis, conferiram aspetos possíveis de melhoramento pelas empresas produtoras dos dispositivos. Huhn et al. (2017) avaliou se determinados fatores como a postura, a atividade física materna e a altura do dia (dia vs noite) poderiam ter impacto na monitorização fetal não invasiva em ambulatório, comparativamente com a monitorização a intra-hospitalar. Participaram no estudo 63 grávidas que utilizaram o dispositivo em casa e 42 grávidas que foram monitorizadas em ambiente hospitalar. Obteve taxas de sucesso de 86,8% em ambulatório e 71,1% a nível do hospital, durante o período noturno. Contudo, no período diurno, as taxas de sucesso na aquisição do sinal baixam para 40,2% em ambulatório e 43,3% a nível hospitalar, sendo que estes valores possam estar relacionados com a movimentação e posturas adquiridas no dia a dia da grávida. Considerando este aspeto, o autor refere que a monitorização não supervisionada poderá apresentar grandes limitações.

Rauf et al. (2011), também estudou a potencialidade de uso ambulatório do ECG-TA, tendo obtido um sinal de qualidade em 86% da amostra (n=70 grávidas), uma mediana de monitorização de 10 horas e uma satisfação de 90% da amostra com este método no domicílio. Ainda neste estudo, foi estudada a monitorização fetal de um caso de indução de trabalho de parto em ambulatório com prostaglandinas, cujo

sucesso ou segurança não será discutido por não ser objetivo deste trabalho, sendo que os próprios autores referem a necessidade de um estudo aleatorizado para confirmar a segurança deste procedimento. Isto lança uma perspetiva no futuro, para que esta tecnologia possa vir a ser utilizada em ambulatório permitindo maior segurança neste e nouro tipo de procedimentos atualmente realizados no hospital, atenuando alguns problemas logísticos relativamente ao desconforto do internamento hospitalar e mesmo à organização do espaço dos serviços.

### 1.3.QUALIDADE DO SINAL

Doshi et al. (2019) procurou medir os intervalos eletrocardiográficos fetais em 55 grávidas. Em 91% da amostra obteve-se resultados interpretáveis sendo que este número desceu para 85% no período com maior impacto do *vernix* (entre as 25 a 31 semanas), sendo isto uma camada que reveste o feto tendo um papel isolante no sinal. Em três gestantes de gravidez múltipla, entre as 19 e 21 semanas, obteve resultados interpretáveis nos seis fetos. Destes seis fetos, cinco apresentaram ritmos anormais demonstrados pela ecografia. Estes ritmos foram corroborados pelo registo captado no ECG-TA. Relativamente aos intervalos eletrocardiográficos fetais não houve diferenças significativas a nível da onda P, QRS, QT e QTc entre as idades gestacionais das 18 às 37 semanas. Observou diferenças significativas no intervalo PR no período das 18 às 24 semanas, estando este intervalo mais encurtado em períodos mais tardios da gravidez. Quanto ao intervalo RR, apresentou-se significativamente mais encurtado no período das 18 às 24 semanas do que no subgrupo das 25 às 31 semanas, porém tal não se verificou comparativamente ao subgrupo das 31 às 37 semanas. Utilizando o ECG-TA para monitorização contínua Crawford et al. (2018) estudou 22 grávidas com idades gestacionais entre as 28 e as 40 semanas obtendo uma taxa de sucesso do sinal 86,3% e uma qualidade do registo média de 69%. Refere uma correlação positiva entre a qualidade do sinal com a idade gestacional e uma correlação negativa com as contrações uterinas e movimentação materna. Jezewski et al. (2017) comparou a variabilidade entre o ECG-TA e o doppler numa amostra de 60 grávidas com idades gestacionais entre as 26 e as 41 semanas. No que diz respeito à perda de sinal, o ECG-

TA teve uma performance superior ao doppler, identificando-se uma perda de sinal de 1,8% vs 4,5%, respetivamente. A diferença média entre a FCf observada entre os dois métodos foi de 0,2 bpm, subindo para 1,2 bpm na análise computadorizada. Documentou ainda resultados superiores para o ECG-TA no registo da FCf durante acelerações e desacelerações, sendo que o doppler apresentava uma perda de sinal de 7,8% nas acelerações e de 54% durante as desacelerações. Outro aspeto interessante prende-se com o facto do ECG-TA apresentar índices de *short term variability* (STV) e *long term variability* (LTV) superiores em 10% e 50%, respetivamente aos resultados obtidos pelo doppler. O STV é uma medida da variação entre batimentos não observável visualmente por inspeção do traçado que traduz a interação entre o sistema simpático e parassimpático. Quanto ao LTV é também uma forma de avaliar a interação entre sistema simpático e parassimpático, comumente utilizada na clínica através da observação do traçado. O trabalho anterior realizado por Jezewski et al. (2006) sugere que esta elevação dos índices no ECG-TA referidas anteriormente representam a realidade, portanto o que existe de facto é uma desvalorização por parte do doppler e não resultados sobrestimados por parte do ECG-TA.

Fuchs, et al. (2014) estudou uma amostra de 773 gestantes com idades gestacionais entre as 28 e as 42 semanas. Reportou uma perda de sinal média global de 32%. Não demonstrou correlações entre a qualidade do sinal e a idade gestacional ( $r= 0,059$ ; CI 0,129–0,0107;  $p> 0,096$ ) ou IMC ( $r= 0,005$ ; CI – 0,079–0,069;  $p> 0,892$ ). De acordo com as recomendações da FIGO, que definem um limite de perda de sinal de 20%, apenas 46% dos registos eletrocardiográficos obtidos estavam de acordo com este standard (Rooth G et al.,1987). De acordo com as *guidelines* da DGGG, que aceitam 15% de perda de sinal, apenas 39% dos registos tinham qualidade suficiente para se proceder à sua correta avaliação (Deutsche Gesellschaft fur Gynakologia und Geburtshilfe, 2004).

Sänger et al. (2012) comparou a qualidade de sinal obtida pela CTG com a obtida pelo ECG-TA. Observou uma qualidade de sinal global superior no ECG-TA de 77,4% relativamente à CTG com uma qualidade de sinal de 73,1%. Apenas no período entre as 27 e as 36 semanas se verificou uma melhor qualidade de sinal na CTG (83,0% vs 72,3%). No período das 20 às 26 semanas o ECG-TA obteve uma performance

superior (75,5% vs 45,5%). Apartir das 37 semanas ambos os métodos foram sobreponíveis. O autor não observou correlação entre IMC e a qualidade do sinal para o ECG-TA, mas refere uma correlação negativa para a CTG demonstrando-se na deterioração da qualidade do sinal deste método com o aumento do IMC.

Graatsma et al. (2009) procurou avaliar a aplicabilidade duma monitorização da FCf prolongada utilizando o ECG-TA. Reporta que 82% dos registos tinham qualidade suficiente para avaliação. Observou uma melhoria da quantidade dos registos no período noturno, constatando uma proporção de registos com qualidade suficiente a ascender os 90,7%. Refere qualidade dos registos inferior entre as 26 e as 34 semanas de idade gestacional, contudo no período posterior essa qualidade aumenta, assim como no período antes das 26 semanas. Não identificou diferença estatística na qualidade do sinal na monitorização hospitalar comparativamente com a monitorização no domicílio, nem no que se refere á apresentação fetal ou o IMC. Relativamente a eventos adversos foi reportado em 20% da amostra irritação da pele e prurido, sendo referido que esta adversidade não era impeditiva à monitorização com ECG-TA caso fosse necessário. Previamente Taylor et al. (2003) reporta uma taxa de sucesso de 85% na aquisição do sinal pelo ECG-TA, sendo que 15% dos registos eram insuficientes para análise. Salientou ainda que destes últimos, 84% correspondiam a registos obtidos entre as 27 e as 36 semanas da idade gestacional.

#### 1.4.RESTRIÇÃO DE CRESCIMENTO FETAL

Smith et al. (2019) realizou uma revisão sistemática para a qual reuniu nove estudos sobre ECG-TA e sete sobre magnetocardiografia. Atendendo às suas utilidades na avaliação de RCF, não observou diferenças estatisticamente significativas entre fetos com ou sem RCF a nível da onda P, intervalo PR, duração do QRS, intervalo QT e rácio T/QRS. Contudo não é excluída a possibilidade destes parâmetros terem utilidade porque existem dados equívocos quanto à associação ou não com à RCF das variáveis, QRS, QT e T/QRS. Observou ainda, diferenças significativas em termos de STV e LTV. Dentro dos diversos métodos de avaliação da LTV apenas o *phase rectified signal*

*averaging* (PRSA) tende a ter potencial em diferenciar fetos leves para a idade gestacional (LIG) e RCF. Velayo et al. (2017) através de um estudo descritivo, utilizando uma amostra de 20 controlos e 15 gestações com RCF, avaliou a possibilidade de obter medidas eletrocardiográficas não invasivas, verificando a possibilidade de ser estabelecido nestas medições algum papel, como eventual marcador de RCF. Foi possível observar um prolongamento significativo do intervalo QT e QTc nos fetos com RCF, porém não foi possível correlacionar qualquer medida eletrocardiográfica com parâmetros obtidos por doppler. É de salientar que foi possível obter em 100% da amostra claramente o P-QRST, demonstrando a possibilidade do fECG servir como método adjunto no rastreio de determinadas patologias. Estudos utilizando magnetocardiografia fetal confirmam o prolongamento dos intervalos com o avançar da idade gestacional, traduzindo o crescimento da massa cardíaca, porém relativamente ao RCF opõem-se a este estudo na medida em que existe encurtamento da onda P, intervalo PR e do QRS (Bolin et al., 2016).

Previamente, Fuchs et al. (2016) também se debruçou sobre a utilidade do ECG-TA comparativamente ao *doppler* na avaliação clínica de fetos normais e fetos com restrição de crescimento. Foram incluídas 93 RCF ligeiras, 37 RCF com repercussão na perfusão cerebral e 324 gestações saudáveis. Observou que as gestações afetadas por RCF tinham rácios T/QRS superiores tanto em média, como em valores absolutos máximos comparativamente às gravidezes de fetos saudáveis. Contudo não foi possível correlacionar com significância estatística o rácio T/QRS com dados objetiváveis pelo *doppler*, concluindo que o fECG unicamente é incapaz de providenciar informação sobre a condição fetal.

### 1.5.FETOS DE MUITO BAIXO PESO / IDADES GESTACIONAIS PRECOCES

Odendaal et al. (2019) monitorizou através do ECG-TA uma amostra de 16 fetos com peso inferior a 1000g e idades gestacionais entre os 54 e 163 dias. Registou perdas de sinal entre os 0.3% a 21%, com uma média de 2.8% e uma mediana de 0.8%. Apenas em dois registos houve perdas de sinal superiores a 10%. Demonstrou poder

obter FCf num feto de muito baixo peso (190g), com menos de 1% da perda do sinal. Segundo o mesmo autor, a obesidade materna não demonstrou ter impacto nas medições. Demonstrou ainda que potenciais traçados patológicos podem prever a morte fetal, todavia traçados patológicos são frequentes durante os estádios iniciais da gravidez e devem ser interpretados com prudência. Kapaya et al. (2019) estudou 35 grávidas com fetos abaixo do percentil 10 de peso estimado e observou que o ECG-TA poderá ser um método promissor na avaliação de fetos leves para a idade gestacional a partir das 34 semanas com uma taxa de sucesso de 68,8% vs 48,6% antes das 34 semanas. A perda de sinal antes das 34 semanas assume-se estar relacionada com a maior presença de *vernix caseosa*.

Fruhman et al. (2016) comparou a monitorização do ECG-TA com a CTG em 30 grávidas com idades gestacionais entre as 24-28 semanas. Observou que a CTG apresentou resultados superiores ao ECG-TA, considerando os *cut-offs* de 60%, 80% e 90% do tempo total em que foi obtido o traçado. Contudo observou que o ECG-TA é superior ao CTG considerando um subgrupo de grávidas com IMC<30 kg/m<sup>2</sup> e ao *cut-off* de 80% do tempo de monitorização. Estes resultados contrastam com literatura, de estudos realizados no intraparto, que demonstram que o fECG tende a ser superior à CTG em grávidas obesas, como abordado posteriormente neste trabalho. Anteriormente Hofmeyr et al. (2014) monitorizou 411 grávidas com gestação datada entre as 20 e as 24 semanas e reportou uma taxa de sucesso de 95,4% na aquisição do sinal isto atendendo que 4,6% dos registos ultrapassaram perdas de sinais das frequências cardíacas fetais superiores a 50%. Reportou também uma percentagem de perda de sinal média de 7,1%.

## 1.6.PRÉ-ECLÂMPسيا

Lakhno, (2015) realizou um estudo em 122 grávidas com 34 a 40 semanas de gestação em que comparou a análise do CTG com análise morfológica do ECG-TA. Estas gestantes foram subdivididas em 3 grupos, o grupo 1 grávidas sem pré-eclâmpsia, grupo 2 com pré-eclâmpsia ligeira-moderada e grupo 3 pré-eclâmpsia severa. Verifica-

se uma taxa de sofrimento fetal de 31,1%, observada nas doentes com pré-eclâmpsia. É reportada uma sensibilidade e especificidade de 100% para o ECG-TA vs CTG que apresenta sensibilidade de 72,7% e especificidade de 87,1% no diagnóstico de sofrimento fetal. O autor verifica ainda diferenças significativas na variabilidade da FCf entre os grupos, atendendo à diminuição da atividade autonómica global com o aumento do grau de severidade da pré-eclâmpsia, avaliadas no estudo através dos seguintes parâmetros: *total power of HRV (TP)* e *standard deviation of normal to normal intervals (SDNN)*. Verifica também que determinados parâmetros relacionados com a análise da FCf estão aumentados no grupo de grávidas com pré-eclâmpsia, de *amplitude of mode (AMo)*, *stress index (SI)* e *low frequency (LF)*, traduzidos pelo aumento da atividade adrenérgica fetal. Esta sobreatividade adrenérgica é também demonstrada através do encurtamento dos intervalos pQ e QT, e ainda pelo aumento do rácio T/QRS ( $p < 0,05$ ). Foram documentadas as seguintes correlações estatisticamente significativas: correlação negativa entre o score de Apgar e o rácio T/QRS ( $R = -0,46$ ;  $p < 0,05$ ); correlação positiva entre o intervalo QT e o Apgar ( $R = 0,41$ ;  $p < 0,05$ ); correlações negativas entre SI e AMo com o Apgar ( $R = -0,38$ ;  $p < 0,05$ ) e ( $R = -0,40$ ;  $p < 0,05$ ), respetivamente; o tónus vagal fetal correlaciona-se positivamente com o Apgar ( $R = 0,36$ ;  $p < 0,05$ ) e o tónus simpático correlaciona-se negativamente com o Apgar ( $R = -0,24$ ;  $p < 0,05$ ). Os parâmetros obtidos por CTG como o STV e LTV apresentam uma correlação fraca com o Apgar ( $R = 0,21$ ;  $p < 0,05$ ) e ( $R = 0,16$ ,  $p < 0,05$ ), respetivamente.

## 1.7. DIAGNÓSTICO PRÉ-NATAL DE CARDIOPATIAS

J. A. Behar et al. (2019) com o objetivo de estudar a deteção de arritmias cardíacas através da eletrocardiografia fetal não invasiva colecionou no total 500 ecografias e o correspondente registo de traçados de ECG-TA. Destes, selecionou todos os casos com arritmias ( $n=12$ ) e um número de controlos correspondentes ( $n=14$ ), todos os casos entre as 22 e 41 semanas gestação. Constatou uma concordância de 100% entre os dois métodos na presença ou não de arritmia. Observou ainda a possibilidade analisar ritmos durante um período maior à

semelhança do holter, que permite documentar com mais precisão um fenómeno arritmico paroxístico. As próprias características do traçado poderão ajudar a orientar determinado diagnóstico como um bloqueio de ramo, entre outros. A extensão deste período de análise pode ser interessante no sentido de complementar informação obtida pela ecografia fetal que é momentânea. Identificou como dificuldade do equipamento, a baixa qualidade do sinal, que neste estudo apenas se pôde interpretar em 69% dos casos, referente ao subgrupo selecionado e controlos correspondentes. A revisão sistemática realizada por Verdurmen et al. (2016) nesta matéria, incluiu 2 *case-reports* e 3 estudos prospetivos, que demonstram a utilidade do ECG-TA como complemento à ecografia cardíaca fetal no diagnóstico de cardiopatias congénitas, porém referiu como limitações o facto das amostras serem pequenas, existirem poucos estudos e se conhecer pouco sobre a relação das características normais do ECG fetal com determinada cardiopatia. Observou também que as metodologias de aquisição dos ECG fetal evoluíram, sendo por isso um método promissor atendendo às limitações inter-operador da ecografia e da própria dificuldade em avaliar objetivamente um coração tão pequeno em movimento constante e rápido. Desta forma, medidas indiretas da hipo/hipertrofia dos tecidos ou anomalias de condução que nos adultos se pode inferir a partir de informação obtida no ECG, poderão ser chave na identificação de certas cardiopatias congénitas.

Arya et al. (2015) estudou a exequibilidade do ECG-TA durante o período anteparto atendendo à possibilidade desta técnica fornecer dados que permitam a avaliação do ritmo cardíaco. Numa amostra de sessenta traçados obtidos apenas 33% atingiram o padrão de qualidade necessário para proceder à sua avaliação, sendo referido no estudo espaço para melhoramento das técnicas de variabilidade entre operadores através do *intraclass coefficient (ICC)* obtendo para cada intervalo os seguintes resultados, PR (ICC= 0,89; CI 0,77–0,94), QRS (ICC= 0,79; CI 0,51–0,91), e RR (ICC= 0,77; CI 0,53–0,88). Os resultados menos favoráveis neste coeficiente foram identificados para intervalo QT (ICC= 0,50; CI 0,01–0,075), que estão relacionados com a dificuldade na obtenção da onda T. Não foi possível obter sinais adequados entre as 25 e as 30 semanas de gestação, salientando os autores o impacto possível do *vernix caseosa* e o seu papel como isolante do sinal elétrico.

## 1.8. OUTRAS MENÇÕES RELEVANTES

Mannella et al. (2020) demonstrou a exequibilidade na utilização do ECG-TA numa ampla gama de idades gestacionais desde as 24 semanas às 41 semanas para aquisição de parâmetros relacionados com a variabilidade da FCf, sendo estes marcadores da maturidade do sistema autonómico fetal. Relativamente a limitações no estudo o autor destaca a problemática do *vernix caseosa* e que apenas em 62,5% dos 80 registos efetuados havia qualidade suficiente para avaliar os parâmetros em estudo. Observou que o RR médio, o *standard deviation of normal RR intervals (SDNN)* e o *root mean square of the successive differences of RR intervals (RMSSD)* aumentaram com o progredir da gestação. O SDNN reflete a influência tanto do sistema simpático e parassimpático na variabilidade da FCf. O RMSSD reflete uma variabilidade da FCf a curto prazo, primariamente influenciada pelo tónus vagal. Reportou também que o *low frequency (LF)* e *high frequency (HF)* aumentaram com idades gestacionais crescentes, contudo o rácio LF/HF não variou significativamente. LF representa a banda do traçado controlado pelo tónus simpático e o HF representa a banda controlada pelo tónus parassimpático. O rácio LF/HF corresponde ao balanço entre os dois sistemas nervosos. Os parâmetros referidos anteriormente são corroborados por outros estudos realizados pelo método da magnetocardiografia fetal (Hoyer et al., 2017; van Leeuwen et al., 1999, 2003). Previamente Lewis (2003) reuniu evidência através do seu artigo de revisão de que o intervalo R-R poderia ser um bom indicador da variabilidade da FCf, referindo também que esta poderia ser um bom indicador da integridade do bem-estar fetal. Surge, deste artigo, a necessidade de mais estudos para estabelecer intervalos normalizados consoante a idade gestacional do feto, isto no intuito de se avaliar a integridade e maturidade, assim como para o diagnóstico pré-natal de arritmias congénitas.

Wacker-Gussmann et al. (2018) estudou os intervalos cardíacos pela análise de 117 traçados eletrocardiográficos obtidos por via transabdominal em grávidas a partir das 32 semanas. Desta amostra apenas foi possível determinar a onda P e os intervalos PQ e PR em 97%. Em todos foi possível identificar o complexo QRS, contudo a onda T

só foi detetável em 41%. Além disso observou-se uma maior taxa de sucesso assim como uma maior qualidade de sinal em idades gestacionais crescentes. Não se observou mudanças significativas a nível da duração dos intervalos QRS, QT, PR e PQ, ainda assim a duração da onda P aumentou significativamente com idades gestacionais crescentes. Anteriormente, Chia et al. (2005) monitorizou através do ECG-TA 100 gestantes com o intuito de avaliar os segmentos eletrocardiográficos de fetos normais. Foi possível obter em 91% o QRS, mas apenas foi possível obter ondas P e T em 74,6% e 79,3% respetivamente. Foi observado um aumento nos vários segmentos (PR, QRS, QT) com o aumento da idade gestacional, refletindo o crescimento cardíaco fetal. Este facto é corroborado por outros estudos prévios. Observou-se também um decréscimo nas taxas de deteção no período entre as 27-32 semanas de idade gestacional. Taylor et al. (2003), já mencionado anteriormente, identificou também menores taxas de sucesso na identificação da onda T, comparativamente ao PQRS.

Peters et al. (2001) referia que uma das potenciais vantagens do fECG é a obtenção da FC fetal a cada batimento, com possível análise da morfologia do traçado, que poderia conter informação diagnóstica importante. Outras vantagens são o método ser menos invasivo, possibilitar monitorização de longa duração e poder ter aplicações ambulatorias. Descreve que uma das desvantagens do método e a razão pelo facto de não ter o seu uso clínico difundido são as inconsistências na aquisição do sinal documentadas na literatura, isto por diversos fatores como por exemplo o período entre as 28-32 semanas do *vernix* e outros aspetos como as contrações musculares abdominais e uterinas que geram interferência no sinal (Wakai et al., 2000).

## 2. INTRAPARTO

Nesta secção encontra-se informação obtida relativamente à monitorização com ECG-TA durante o trabalho de parto. Serão abordadas várias medidas de qualidade do sinal como a acuidade, taxa de sucesso, perda de sinal, confusão com a frequência cardíaca fetal, fiabilidade e satisfação com o método. Será ainda abordado o impacto do IMC materno e a monitorização das contrações uterinas.

### 2.1.ACUIDADE

A acuidade refere-se à diferença em termos da raiz quadrada do erro médio (RMSE) em batimentos por minuto (bpm), ou seja, qual o tamanho do desvio médio em termos de FCf que determinado método de monitorização apresenta relativamente a um método de referência. Vullings & Van Laar (2020) descrevem uma nova metodologia de aquisição da frequência cardíaca fetal através do ECG-TA comparando a outros métodos não invasivos pré-existentes (Nemo, Monica AN24, ECO) e à referência através do FSE. Reporta uma precisão global de  $3,2 \pm 1,4$  bpm para o seu método, 1,5 a 5,3 bpm para outros dispositivos de ECG-TA e de  $10,9 \pm 5,8$  para a CTG. No primeiro estadio do trabalho de parto a acuidade mantém-se semelhante para os métodos de ECG fetal entre 1,4 a 3,0 bpm e a CTG com 7,9 bpm. Relativamente ao segundo estadio de trabalho de parto é onde se observa uma acuidade inferior com o ECG-TA entre 1,7 a 7,9 bpm de erro e a CTG com 16,1 bpm. Lempersz et al. (2020) efetuou um estudo com monitorização dupla (ECG-TA e FSE) utilizando depois valores da literatura para comparação à CTG. Registou uma acuidade de 1,46 bpm comparativamente aos valores de 10,6 a 14,3 reportados na literatura. Observou-se também uma acuidade de 0,54 bpm para a FC materna. Hayes-Gill et al. (2020) estudou a percentagem de tempo em que se observava um erro  $>10$ bpm, sendo que a CTG apresentava 14% e o ECG-TA de 1%. Euliano et al. (2017), utilizando também o FSE como referência, reporta uma acuidade global de 4,8 bpm vs 14,3 bpm para a CTG, não havendo diferenças significativas na acuidade do ECG-TA entre estadios do trabalho de

parto. Ashwal et al. (2019) reporta uma acuidade superior, obtendo valores de RMSE, na ECG-TA de 1,47 bpm, relativamente à CTG com 5,39 bpm ( $p < 0,05$ ). Cohen et al. (2012) observou um RMSE de 5,2 bpm para o ECG-TA e 10,6 para a CTG ( $p < 0,0001$ ). Além disso, identificou um decréscimo da acuidade de ambos os métodos durante o segundo estadio do trabalho do parto, porém a CTG mantinha o dobro do RMSE do ECG-TA ( $p < 0,0001$ ). Reinhard et al. (2012) utilizou uma forma diferente de expressar a acuidade, utilizou o coeficiente de correlação *Spearman rank*. O autor faz referência, no seu estudo, a um coeficiente de 0,94 para o primeiro estadio do trabalho de parto e 0,85 no segundo estadio do trabalho de parto, sugerindo uma boa correlação entre os valores de FCf obtidos pela ECG-TA e pela CTG, esta última foi utilizada como método de referência.

## 2.2. TAXA DE SUCESSO E PERDA DE SINAL

### 2.2.1. Taxa de sucesso

Taxa de sucesso é definida como a percentagem de tempo que o método em estudo regista sinal. Vullings & van Laar (2020) reporta taxas de sucesso na ordem dos 99% para o seu método tanto globalmente como para o primeiro e segundo estadio de trabalho de parto, comparativamente muito superiores a outros métodos de ECG-TA com taxas de sucesso globais entre 89,5-83,4% e a CTG de 82,5%, sendo que no primeiro estadio apresentam taxa de sucesso entre 91,3-86,4% e a CTG 82,6%. No segundo estadio a taxa de sucesso decresce para 75,2%-63,3% no ECG-TA e a CTG 77,8%. Stampalija et al. (2012) documenta 88,5% de taxa de sucesso na aquisição da FCf através do ECG-TA, sem diferenças relativamente à obtida por CTG de 89,4%. No primeiro estadio a taxa de sucesso foi de 89,8% e 89,9%, para o ECG-TA e CTG respetivamente. Reinhard et al. (2013) utiliza, nos seus estudos, o termo *reliability* com a mesma definição acima de taxa de sucesso. Reporta, no primeiro estadio de trabalho de parto, uma *reliability* de 87,1% e no segundo estadio de 70,5%. Reinhard et al. (2012) neste outro estudo em que compara o ECG-TA à CTG, reporta uma *reliability* de 95,7% e 87,3%, respetivamente. Cohen et al. (2012) reporta taxas de sucesso de 86,4%

e 75,2% para o ECG-TA no primeiro e segundo estadio, respetivamente. Para a CTG reporta taxas de sucesso de 82,6% e 77,8%, respetivamente ao primeiro e segundo estadio.

Relativamente ao modo de apresentação fetal, Sanger et al. (2013) não documentou diferenas significativas na taxa de sucesso no primeiro estadio do trabalho de parto entre a apresentao cefálica comparativamente  apresentao pélvica (87,8% vs 85,7%,  $p= 0,05$ ). No segundo estadio do trabalho de parto foi observado uma tendência para maior sucesso de aquisio de sinal perante uma apresentao pélvica (78,4% vs 55,4%;  $p= 0,08$ ).

### **2.2.2. Perda de sinal**

Perda de sinal  definido como a percentagem de tempo em que determinado método de monitorizao não regista sinal. Os critérios da FIGO definem que uma percentagem de perda de sinal aceitável se situa em perdas  $\leq 20\%$  (Rooth G et al., 1987). Reinhard et al. (2012), comparando o ECG-TA com a CTG, realizou uma análise de subgrupos atendendo  percentagem de perda de sinal inferior a 15% e 20%. Considerando perdas de sinal inferiores a 20% demonstrou-se, relativamente ao ECG-TA, que 78,5% e 46,9% da amostra no primeiro e segundo estadio, respetivamente, se situava nesta margem. Para a CTG demonstrou que 77% e 52% da amostra no primeiro e segundo estadio, respetivamente, se encontrava nesta margem de perda de sinal inferior a 20%. Quanto aos valores da amostra que tinham erro inferior a 15% para o ECG-TA são de 73,3% e 36,7% e para a CTG de 64,4% e 37,8% no primeiro e segundo estadio, respetivamente.

Clifford et al. (2011) reportam que em 10,1% das grávidas não foi possível obter um traado útil para análise. Fox, Coddington, Scarf, et al. (2021) reporta uma monitorizao com sucesso em 73% da sua amostra de 110 mulheres, sendo que em 27% houve problemas técnicos com o início da monitorizao.  de realar que apenas em 23,6% das grávidas foi possível uma monitorizao ininterrupta desde o início de trabalho de parto até ao nascimento da criana.

### 2.3.TAXA DE CONFUSÃO FETO-MATERNA

O termo *confusion rate* (CR) refere-se à percentagem do tempo em que o método em estudo confunde a frequência cardíaca materna com a fetal. É também expresso na literatura como MHR/FHR *ambiguity*, ou seja, ambiguidade entre as frequências cardíacas materna e fetal, sendo uma percentagem do tempo de monitorização na qual estas se sobrepõem. Reinhard et al. (2013) observou que, tanto para o primeiro como para o segundo estadio do trabalho de parto, a ambiguidade da CTG é superior à do ECG-TA, apresentando valores de ambiguidade no primeiro estadio de 1,22% vs 0,70% e no segundo estadio de 6,20% vs 3,30%, respetivamente. Cohen et al. (2012) à semelhança de Reinhard et al, observa um a taxa de confusão superior na CTG relativamente ao ECG-TA no primeiro e segundo estadio (1º estadio- 8,9% vs 0,4%; 2º estadio- 11% vs 0,7%), assim como um aumento da taxa de confusão em ambos os métodos no segundo estadio de trabalho de parto. Também Stampalija et al. (2012), corrobora os autores mencionados referindo no seu estudo taxa de confusão inferior para o ECG-TA comparado com o CTG (1.3% vs 4.5%).

### 2.4.FIABILIDADE

O termo fiabilidade, traduz-se na forma de percentagem de tempo em que é possível gerar um sinal com uma margem de erro dentro dos 10% do sinal obtido, pelo método de referência (FSE) e é expresso na literatura como a percentagem positiva de concordância (PPA), ou como *reliability*. Vullings & van Laar, (2020) reporta uma fiabilidade global de 95,7% para a sua metodologia de processamento de sinal obtida pela ECG-TA, implementando inteligência artificial no melhoramento algorítmico. É reportado 86,8-81,7% para outros métodos de ECG-TA e 73% para a CTG, sendo estes dados obtidos através da literatura. Na sua subdivisão entre os estádios do trabalho de parto, observa-se uma deterioração da fiabilidade em todos os métodos, visto que as percentagens se mantêm semelhantes no primeiro estadio aos valores globais, mas no segundo estadio descem para 85,9% para o método desenvolvido por Vullings et al.,

71,9-68,5% para outros métodos de ECG-TA e 61,7% para a CTG. Lempersz, et al. (2020) reporta uma fiabilidade global para a FCf de 86,48% relativamente ao FSE. Lempersz et al. à semelhança de Vullings et al. reporta um decréscimo da fiabilidade no 2º estadio do trabalho de parto de 88,4% de fiabilidade no primeiro estadio para 68,5% no segundo estadio do trabalho de parto. Quanto à FC materna a fiabilidade global documentada é de 95,3%. Ashwal et al. (2019) reporta uma PPA média de 98,5% para o ECG-TA e 96% para a CTG. Foi realizada uma análise em primeiro e segundo estadio do trabalho de parto, com o primeiro estadio subdividido na sua fase latente e ativa, sendo que o ECG-TA demonstrou PPA de 99,7% na primeira e 99% na segunda. No segundo estadio do trabalho de parto observou-se um decréscimo de PPA em ambos os métodos, sendo este decréscimo superior na CTG de 97,7%-97,1% (fase latente e ativa respetivamente) no primeiro estadio para 94,9% no 2º estadio. Euliano et al. (2017) reporta uma PPA de 83,4% para o ECG-TA e de 62,4% para a CTG. Similarmente Cohen et al. (2012) observou valores de PPA para o ECG-TA de 81,7% e para a CTG de 73,0%. Quer Euliano et al., quer Cohen et al. depararam-se com um decréscimo nas percentagens de fiabilidade no segundo estadio do trabalho de parto para o ECG-TA como para a CTG, sendo os valores de fiabilidade da CTG (61,5% - Cohen et al; 64,8% Euliano et al.) inferiores aos observados no ECG-TA (71,9% - Cohen et al; 77,5% - Euliano et al.)

## 2.5.SATISFAÇÃO

A satisfação, por parte das grávidas e dos profissionais de saúde com esta nova metodologia, foi alvo de interesse e estudo por parte de Fox et al. (2021a, 2021b). A autora realizou dois estudos, em que num deles faz referência à opinião da grávida e outro á opinião dos profissionais de saúde sobre o ECG-TA, concluindo a existência um alto nível de aceitação em ambas as partes, apesar de alguma insegurança relativamente à qualidade do sinal. Os profissionais de saúde manifestaram que, este novo método, permite uma abordagem mais holística da grávida, focada na vivência da situação e não na máquina comparativamente à CTG, isto motivado também pela menor necessidade de ajustes. Aspectos importantes para as grávidas foram o conforto,

a liberdade de movimento e a sensação de controlo durante o trabalho de parto que o método lhes proporciona. Rauf et al. (2011) no seu estudo com 70 grávidas refere que 90% ficou satisfeita com a monitorização através da ECG-TA.

## 2.6.IMC

De acordo com os resultados obtidos no estudo aleatorizado de Monson et al. (2020), em que foi realizada a comparação entre ECG-TA e a CTG numa amostra de 218 grávidas, atendendo à percentagem de minutos interpretáveis neste subgrupo existe superioridade do ECG-TA relativamente à CTG em grávidas com IMC>30 kg/m<sup>2</sup>. 55,3% vs 51,5% (p<0,001), respetivamente. Não foram identificadas diferenças globais no desfecho primário do estudo que consiste na percentagem de minutos com traçados interpretáveis no dispositivo em estudo relativamente ao período total de monitorização. Este pouco impacto do IMC materno na performance do ECG-TA foi também demonstrada por Lempersz et al. (2020) no seu estudo com registo simultâneo por ECG-TA e FSE. Os resultados recentes suportam a literatura anterior relativamente aos estudos de Cohen & Hayes-Gill (2014) e Graatsma et al. (2010) em que, no primeiro estudo, se observou um impacto negativo no registo da FCf na cardiocografia com o IMC crescente, porém o IMC não afetou a performance do ECG-TA tanto no registo da FCf como nas contrações uterinas. No segundo estudo também não foi reportado impacto significativo do IMC na performance desta tecnologia. Assim, uma das grandes vantagens do ECG-TA prende-se com a capacidade de manutenção da qualidade de aquisição da FCf independentemente do índice de massa corporal materno, o que não acontece na monitorização com cardiocografia.

Euliano et al. (2017) realizou uma análise de subgrupos entre grávidas obesas e não obesas no seu estudo comparativo entre FSE e ECG-TA. Demonstrou a manutenção da acuidade do ECG-TA no subgrupo obeso com 4.8 bpm de RMSE, todavia observou uma grande deterioração da CTG de 11 bpm no grupo de peso normal para 15.6bpm nas grávidas obesas.

## 2.7.MORFOLOGIA ELETROCARDIOGRÁFICA

Um dos potenciais clínicos do ECG-TA relaciona-se com o seu potencial em permitir a realização de um registo eletrocardiográfico, similar ao traçado obtido num eletrocardiograma em adultos. J. Behar et al. (2016) demonstrou uma concordância completa entre o intervalo QT avaliado pelo FSE e por ECG-TA. Relativamente ao segmento ST, Clifford et al. (2011) demonstrou através da monitorização invasiva e não invasiva simultânea uma alta concordância entre os métodos com um erro de 3,2%. Foi estudada também a diferença relativamente à FCf e o erro foi extremamente baixo de 0,36 bpm. Outro estudo realizado por Reinhard et al. (2014), com a mesma metodologia de aquisição do sinal anteriormente mencionada, conseguiu uma aquisição com 100% de sucesso relativamente à onda P e QRS, contudo a onda T e segmento ST foi apenas possível analisar em 50% dos casos. Observou também que nos casos em que foi possível obter a onda T e segmento ST o rácio T/QRS era concordante com o rácio obtido por FSE. Esta taxa de 100% de sucesso na obtenção do PQRS também foi documentada anteriormente por Taylor et al. (2005) que contrasta com a taxa de sucesso de 92% relativamente à aquisição da onda T.

É importante realçar que nos estudos mencionados anteriormente realizados no período intraparto a amostra varia entre seis e 32 grávidas, tendo um fraco poder estatístico na demonstração da aplicabilidade clínica de momento. Torna-se necessário mais estudos nesta área de forma a explorar não só a capacidade de aquisição das morfologias, como o seu significado no feto em determinada idade gestacional e a potencial de patologia associada a determinados parâmetros morfológicos do ECG.

## 2.8.CONTRAÇÕES UTERINAS

Quanto à avaliação da contratilidade, o ECG-TA tem a capacidade de captar as contrações uterinas através da eletrohisterografia (EHG). Parameshwari & Shenbaga (2020) observou igualdade na performance de registo da contratilidade entre a CTG e a EHG. O seu estudo evidência que os sinais obtidos na EHG foram mais precocemente detetados que as contrações registadas pela CTG. Hadar et al. (2015), a partir de 385

registro, comparou três métodos de avaliação das contrações uterinas, a EHG com a tocografia (TOCO) e o cateter intrauterino de pressão (CIUP), sendo este último o *gold-standard* na avaliação da contratilidade uterina. Documentou uma taxa de sucesso de 94,8% para o CIUP, de 87% para a EHG e uma taxa relativamente inferior aos outros métodos de 67,5% para a TOCO. Demonstrou também valores superiores de concordância subjetiva entre observadores na avaliação das contrações para o CIUP e EHG com >70,5% e >84% de concordância respectivamente. A concordância entre observadores na TOCO situa-se em valores  $\geq 55\%$ , significando que houve mais vezes em que dois observadores diferentes discordaram comparativamente à concordância no EHG e CIUP. Em valores objetivos de concordância com o CIUP obtidos através da análise comparativa dos sinais observou uma PPA de 100% vs 92,9% para a EHG e TOCO, respectivamente. Noutra medida de concordância, o *total percent agreement* os resultados da EHG vs CIUP (98,2%) foram superiores aos da TOCO vs CIUP (91,7%). Observou um maior *delta* na frequência de contrações médias entre TOCO vs CIUP ( $-3,34 \pm 4,97$ ) do que na EHG vs CIUP ( $0,77 \pm 2,3$ ), significando que a TOCO tem maior perda de sinal que a EHG. Reporta também uma sensibilidade, valor preditivo positivo e taxa de falsos positivos na identificação de contrações individuais de 54%, 84,4% e 15,6% para a TOCO, respectivamente, enquanto para a EHG temos 94,2%, 87,6% e 12,4%, respectivamente. Conclui-se que a EHG é um método aparente mais fidedigno na avaliação da contratilidade uterina comparativamente à TOCO.

## CONCLUSÃO

Conforme documentado ao longo do trabalho, as aplicações dos dispositivos de eletrocardiografia fetal transabdominal são múltiplas. Este método não só permite a monitorização e avaliação da FCf, como a análise do traçado eletrocardiográfico objetivando determinados parâmetros para potencial diagnóstico de patologia fetal. Outro aspeto relevante destes dispositivos prende-se com a capacidade de poderem também avaliar a contratilidade uterina. Todas estas potencialidades estão reunidas num dispositivo que apresenta altas taxas de satisfação, tanto em grávidas como em profissionais de saúde, realçando-se a sua comodidade e facilidade de utilização. Apesar de uma forma geral o ECG-TA se apresentar superior à CTG, ainda são necessários estudos mais uniformes nos desfechos em estudo, com amostras de dimensão superior, assim como uma uniformização no tipo de dispositivo utilizado. Muitos estudos utilizam dispositivos com número variável de elétrodos sendo difícil uma comparação direta. Ainda que com todas as incertezas ainda existentes, perspectiva-se que as potencialidades do ECG-TA a nível de ambulatório, no diagnóstico pré-natal e no intraparto, entre outras já mencionadas, sejam um grande avanço para a obstetrícia clínica.

## BIBLIOGRAFIA

- Alfirevic, Z., Gyte, G. M., Cuthbert, A., & Devane, D. (2017). Continuous cardiotocography (CTG) as a form of electronic fetal monitoring (EFM) for fetal assessment during labour. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(5). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006066.pub3>
- Arya, B., Govindan, R., Krishnan, A., Duplessis, A., & Donofrio, M. T. (2015). Feasibility of noninvasive fetal electrocardiographic monitoring in a clinical setting. *Pediatric Cardiology*, 36(5), 1042–1049. <https://doi.org/10.1007/s00246-015-1118-4>
- Ashwal, E., Shinar, S., Aviram, A., Orbach, S., Yogev, Y., & Hirsch, L. (2019). A novel modality for intrapartum fetal heart rate monitoring. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 32(6), 889–895. <https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1395010>
- Ayres-de-Campos, D., Spong, C. Y., & Chandrachan, E. (2015). FIGO consensus guidelines on intrapartum fetal monitoring: Cardiotocography. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 131(1), 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2015.06.020>
- Behar, J. A., Bonnemains, L., Shulgin, V., Oster, J., Ostras, O., & Lakhno, I. (2019). Noninvasive fetal electrocardiography for the detection of fetal arrhythmias. *Prenatal Diagnosis*, 39(3), 178–187. <https://doi.org/10.1002/pd.5412>
- Behar, J., Zhu, T., Oster, J., Niksch, A., Mah, D. Y., Chun, T., Greenberg, J., Tanner, C., Harrop, J., Sameni, R., Ward, J., Wolfberg, A. J., & Clifford, G. D. (2016). Evaluation of the fetal QT interval using non-invasive fetal ECG technology. *Physiological Measurement*, 37(9), 1392–1403. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/37/9/1392>
- Bolin, E. H., Siegel, E. R., Eswaran, H., Lowery, C. L., Zakaria, D., & Best, T. H. (2016). Cardiac time intervals derived by magnetocardiography in fetuses exposed to pregnancy hypertension syndromes. *Journal of Perinatology*, 36(8), 643–648. <https://doi.org/10.1038/jp.2016.58>

- Chia, E. L., Ho, T. F., Rauff, M., & Yip, W. C. L. (2005). Cardiac time intervals of normal fetuses using noninvasive fetal electrocardiography. *Prenatal Diagnosis*, 25(7), 546–552. <https://doi.org/10.1002/pd.1184>
- Clifford, G., Sameni, R., Ward, J., Robinson, J., & Wolfberg, A. J. (2011). Clinically accurate fetal ECG parameters acquired from maternal abdominal sensors. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 205(1), 47.e1-5. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2011.02.066>
- Cohen, W. R., & Hayes-Gill, B. (2014). Influence of maternal body mass index on accuracy and reliability of external fetal monitoring techniques. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, 93(6), 590–595. <https://doi.org/10.1111/aogs.12387>
- Cohen, W. R., Ommani, S., Hassan, S., Mirza, F. G., Solomon, M., Brown, R., Schifrin, B. S., Himsworth, J. M., & Hayes-Gill, B. R. (2012). Accuracy and reliability of fetal heart rate monitoring using maternal abdominal surface electrodes. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, 91(11), 1306–1313. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0412.2012.01533.x>
- Crawford, A., Anyadi, P., Stephens, L., Thomas, S. L., Reid, H., Higgins, L. E., Warrander, L. K., Johnstone, E. D., & Heazell, A. E. P. (2018). A mixed-methods evaluation of continuous electronic fetal monitoring for an extended period. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, 97(12), 1515–1523. <https://doi.org/10.1111/aogs.13446>
- Deutsche Gesellschaft für perinatale Medizin, AG für maternofetale Medizin, deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe Anwendung des CTG während Schwangerschaft und Geburt. *Frauenarzt* 2004, 45, 979–989.
- Doshi, A. N., Mass, P., Cleary, K. R., Moak, J. P., Funamoto, K., Kimura, Y., Khandoker, A. H., & Krishnan, A. (2019). Feasibility of Non-invasive Fetal Electrocardiographic Interval Measurement in the Outpatient Clinical Setting. *Pediatric Cardiology*, 40(6), 1175–1182. <https://doi.org/10.1007/s00246-019-02128-w>

- Euliano, T. Y., Darmanjian, S., Nguyen, M. T., Busowski, J. D., Euliano, N., & Gregg, A. R. (2017). Monitoring Fetal Heart Rate during Labor: A Comparison of Three Methods. *Journal of Pregnancy*, 2017, 8529816. <https://doi.org/10.1155/2017/8529816>
- Fox, D., Coddington, R., & Scarf, V. (2021). Wanting to be ‘with woman’, not with machine: Midwives’ experiences of caring for women being continuously monitored in labour. *Women and Birth*. <https://doi.org/10.1016/j.wombi.2021.09.002>
- Fox, D., Coddington, R., Scarf, V., Bisits, A., Lainchbury, A., Woodworth, R., Maude, R., Foureur, M., & Sandall, J. (2021). Harnessing technology to enable all women mobility in labour and birth: feasibility of implementing beltless non-invasive fetal ECG applying the NASSS framework. *Pilot and Feasibility Studies*, 7(1), 214. <https://doi.org/10.1186/s40814-021-00953-6>
- Fruhman, G., Gavard, J. A., McCormick, K., Wilson-Griffin, J., Amon, E., & Gross, G. A. (2016). Standard External Doppler Fetal Heart Tracings versus External Fetal Electrocardiogram in Very Preterm Gestation: A Pilot Study. *AJP Reports*, 6(4), e378–e383. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1592413>
- Fuchs, T., Grobelak, K., Pomorski, M., & Zimmer, M. (n.d.). Fetal Heart Rate Monitoring Using Maternal Abdominal Surface Electrodes in Third Trimester: Can We Obtain Additional Information Other than CTG Trace? *Advances in Clinical and Experimental Medicine : Official Organ Wroclaw Medical University*, 25(2), 309–316. <https://doi.org/10.17219/acem/60842>
- Fuchs, T., Pomorski, M., Grobelak, K., Tomiałowicz, M., & Zimmer, M. (n.d.). Signal loss during fetal heart rate monitoring using maternal abdominal surface electrodes between 28 and 42 weeks of pregnancy. *Advances in Clinical and Experimental Medicine : Official Organ Wroclaw Medical University*, 23(5), 813–819. <https://doi.org/10.17219/acem/37258>
- Graatsma, E. M., Jacod, B. C., van Egmond, L. A. J., Mulder, E. J. H., & Visser, G. H. A. (2009). Fetal electrocardiography: feasibility of long-term fetal heart rate

recordings. *BJOG : An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 116(2), 334–337; discussion 337-8. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2008.01951.x>

Graatsma, E. M., Miller, J., Mulder, E. J. H., Harman, C., Baschat, A. A., & Visser, G. H. A. (2010). Maternal body mass index does not affect performance of fetal electrocardiography. *American Journal of Perinatology*, 27(7), 573–577. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248945>

Hadar, E., Biron-Shental, T., Gavish, O., Raban, O., & Yogev, Y. (2015). A comparison between electrical uterine monitor, tocodynamometer and intra uterine pressure catheter for uterine activity in labor. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 28(12), 1367–1374. <https://doi.org/10.3109/14767058.2014.954539>

Hayes-Gill, B. R., Martin, T. R. P., Liu, C., & Cohen, W. R. (2020). Relative accuracy of computerized intrapartum fetal heart rate pattern recognition by ultrasound and abdominal electrocardiogram detection. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, 99(3), 413–422. <https://doi.org/10.1111/aogs.13760>

Hofmeyr, F., Groenewald, C. A., Nel, D. G., Myers, M. M., Fifer, W. P., Signore, C., Hankins, G. D. v, Odendaal, H. J., & PASS Network. (2014). Fetal heart rate patterns at 20 to 24 weeks gestation as recorded by fetal electrocardiography. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine : The Official Journal of the European Association of Perinatal Medicine, the Federation of Asia and Oceania Perinatal Societies, the International Society of Perinatal Obstetricians*, 27(7), 714–718. <https://doi.org/10.3109/14767058.2013.836485>

Hoyer, D., Żebrowski, J., Cysarz, D., Gonçalves, H., Pytlik, A., Amorim-Costa, C., Bernardes, J., Ayres-de-Campos, D., Witte, O. W., Schleußner, E., Stroux, L., Redman, C., Georgieva, A., Payne, S., Clifford, G., Signorini, M. G., Magenes, G., Andreotti, F., Malberg, H., ... Schneider, U. (2017). Monitoring fetal maturation—objectives, techniques and indices of autonomic function. *Physiological Measurement*, 38(5), R61–R88. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa5fca>

Huhn, E. A., Müller, M. I., Meyer, A. H., Manegold-Brauer, G., Holzgreve, W., Hoesli, I., & Wilhelm, F. H. (2017). Quality Predictors of Abdominal Fetal

Electrocardiography Recording in Antenatal Ambulatory and Bedside Settings. *Fetal Diagnosis and Therapy*, 41(4), 283–292. <https://doi.org/10.1159/000448946>

Jezewski, J., Wrobel, J., & Horoba, K. (2006). Comparison of Doppler ultrasound and direct electrocardiography acquisition techniques for quantification of fetal heart rate variability. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53(5), 855–864. <https://doi.org/10.1109/TBME.2005.863945>

Jezewski, J., Wrobel, J., Matonia, A., Horoba, K., Martinek, R., Kupka, T., & Jezewski, M. (2017). Is Abdominal Fetal Electrocardiography an Alternative to Doppler Ultrasound for FHR Variability Evaluation? *Frontiers in Physiology*, 8, 305. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00305>

Kahankova, R., Martinek, R., Jaros, R., Behbehani, K., Matonia, A., Jezewski, M., & Behar, J. A. (2020). A Review of Signal Processing Techniques for Non-Invasive Fetal Electrocardiography. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 13, 51–73. <https://doi.org/10.1109/RBME.2019.2938061>

Kapaya, H., Dimelow, E. R., & Anumba, D. (n.d.). Women's experience of wearing a portable fetal-electrocardiogram device to monitor small-for-gestational age fetus in their home environment. *Women's Health (London, England)*, 14, 1745506518785620. <https://doi.org/10.1177/1745506518785620>

Kapaya, H., Dimelow, E. R., & Anumba, D. (2019). Is portable foetal electrocardiogram monitor feasible for foetal heart rate monitoring of small for gestational age foetuses in the home environment. *Journal of Obstetrics and Gynaecology: The Journal of the Institute of Obstetrics and Gynaecology*, 39(8), 1081–1086. <https://doi.org/10.1080/01443615.2019.1587394>

Lakhno, I. (2015). Fetal Non-invasive Electrocardiography Contributes to Better Diagnostics of Fetal Distress: A Cross-sectional Study Among Patients with Pre-eclampsia. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 44(11), 519–523.

Lempersz, C., Noben, L., van Osta, G., Wassen, M. L. H., Meershoek, B. P. J., Bakker, P., Jacquemyn, Y., Cuerva, M. J., Vullings, R., Westerhuis, M. E. M. H., & Oei, G. S. (2020). Intrapartum non-invasive electrophysiological monitoring: A prospective

observational study. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, 99(10), 1387–1395. <https://doi.org/10.1111/aogs.13873>

Lewis, M. J. (2003). Review of electromagnetic source investigations of the fetal heart. *Medical Engineering & Physics*, 25(10), 801–810. [https://doi.org/10.1016/s1350-4533\(03\)00121-8](https://doi.org/10.1016/s1350-4533(03)00121-8)

Mannella, P., Billeci, L., Giannini, A., Canu, A., Pancetti, F., Simoncini, T., & Varanini, M. (2020). A feasibility study on non-invasive fetal ECG to evaluate prenatal autonomic nervous system activity. *European Journal of Obstetrics, Gynecology, and Reproductive Biology*, 246, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2020.01.015>

Monson, M., Heuser, C., Einerson, B. D., Esplin, I., Snow, G., Varner, M., & Esplin, M. S. (2020). Evaluation of an external fetal electrocardiogram monitoring system: a randomized controlled trial. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 223(2), 244.e1-244.e12. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.02.012>

Noben, L., Westerhuis, M. E. M. H., van Laar, J. O. E. H., Kok, R. D., Oei, S. G., Peters, C. H. L., & Vullings, R. (2020). Feasibility of non-invasive Foetal electrocardiography in a twin pregnancy. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 20(1), 215. <https://doi.org/10.1186/s12884-020-02918-8>

Odendaal, H., Groenewald, C., Hankins, G. D. v, du Plessis, C., Myers, M. M., Fifer, W. P., & PASS Network. (2019). Transabdominal recordings of fetal heart rate in extremely small fetuses. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine : The Official Journal of the European Association of Perinatal Medicine, the Federation of Asia and Oceania Perinatal Societies, the International Society of Perinatal Obstetricians*, 32(6), 1044–1047. <https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1397120>

Peters, M., Crowe, J., Piéri, J. F., Quartero, H., Hayes-Gill, B., James, D., Stinstra, J., & Shakespeare, S. (2001). Monitoring the fetal heart non-invasively: a review of methods. *Journal of Perinatal Medicine*, 29(5), 408–416. <https://doi.org/10.1515/JPM.2001.057>

- R, P., & S, S. D. (2020). Acquisition and Analysis of Electrohysterogram Signal. *Journal of Medical Systems*, 44(3), 66. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-1523-y>
- Rauf, Z., O'Brien, E., Stampalija, T., Ilioniu, F. P., Lavender, T., & Alfirevic, Z. (2011). Home labour induction with retrievable prostaglandin pessary and continuous telemetric trans-abdominal fetal ECG monitoring. *PloS One*, 6(11), e28129. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028129>
- Reinhard, J., Hayes-Gill, B. R., Schiermeier, S., Hatzmann, H., Heinrich, T. M., & Louwen, F. (2013). Intrapartum heart rate ambiguity: a comparison of cardiotocogram and abdominal fetal electrocardiogram with maternal electrocardiogram. *Gynecologic and Obstetric Investigation*, 75(2), 101–108. <https://doi.org/10.1159/000345059>
- Reinhard, J., Hayes-Gill, B. R., Schiermeier, S., Hatzmann, W., Herrmann, E., Heinrich, T. M., & Louwen, F. (2012). Intrapartum signal quality with external fetal heart rate monitoring: a two way trial of external Doppler CTG ultrasound and the abdominal fetal electrocardiogram. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 286(5), 1103–1107. <https://doi.org/10.1007/s00404-012-2413-4>
- Reinhard, J., Hayes-Gill, B., Yuan, J., Schiermeier, S., & Louwen, F. (2014). Intrapartum ST segment analyses (STAN) using simultaneous invasive and non-invasive fetal electrocardiography: a report of 6 cases. *Zeitschrift Fur Geburtshilfe Und Neonatologie*, 218(3), 122–127. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375606>
- Rooth G, Huch A, Huch R: Guidelines for the use of fetal monitoring. *Int J Gynaecol Obstet* 1987, 25, 159–167.
- Sänger, N., Hayes-Gill, B. R., Schiermeier, S., Hatzmann, W., Yuan, J., Herrmann, E., Louwen, F., & Reinhard, J. (2012). Prenatal Foetal Non-invasive ECG instead of Doppler CTG - A Better Alternative? *Geburtshilfe Und Frauenheilkunde*, 72(7), 630–633. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1315012>
- Sänger, N., Louwen, F., Reinhard, J., Yuan, J., & Hanker, L. (2013). Signal quality of non-invasive fetal electrocardiogram in vaginal breech delivery: a case-controlled

study. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 288(5), 1017–1020. <https://doi.org/10.1007/s00404-013-2860-6>

Schramm, K., Lapert, F., Nees, J., Lempersz, C., Oei, S. G., Haun, M. W., Maatouk, I., Bruckner, T., Sohn, C., & Schott, S. (2018). Acceptance of a new non-invasive fetal monitoring system and attitude for telemedicine approaches in obstetrics: a case-control study. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 298(6), 1085–1093. <https://doi.org/10.1007/s00404-018-4918-y>

Smith, V., Nair, A., Warty, R., Sursas, J. A., da Silva Costa, F., & Wallace, E. M. (2019). A systematic review on the utility of non-invasive electrophysiological assessment in evaluating for intra uterine growth restriction. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 19(1), 230. <https://doi.org/10.1186/s12884-019-2357-9>

Stampalija, T., Signaroldi, M., Mastroianni, C., Rosti, E., Signorelli, V., Casati, D., & Ferrazzi, E. M. (2012). Fetal and maternal heart rate confusion during intrapartum monitoring: comparison of trans-abdominal fetal electrocardiogram and Doppler telemetry. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine : The Official Journal of the European Association of Perinatal Medicine, the Federation of Asia and Oceania Perinatal Societies, the International Society of Perinatal Obstetricians*, 25(8), 1517–1520. <https://doi.org/10.3109/14767058.2011.636090>

Taylor, M. J. O., Smith, M. J., Thomas, M., Green, A. R., Cheng, F., Oseku-Afful, S., Wee, L. Y., Fisk, N. M., & Gardiner, H. M. (2003). Non-invasive fetal electrocardiography in singleton and multiple pregnancies. *BJOG : An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 110(7), 668–678.

Taylor, M. J. O., Thomas, M. J., Smith, M. J., Oseku-Afful, S., Fisk, N. M., Green, A. R., Paterson-Brown, S., & Gardiner, H. M. (2005). Non-invasive intrapartum fetal ECG: preliminary report. *BJOG : An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 112(8), 1016–1021. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2005.00643.x>

van Leeuwen, P., Geue, D., Lange, S., Hatzmann, W., & Grönemeyer, D. (2003). Changes in the frequency power spectrum of fetal heart rate in the course of pregnancy. *Prenatal Diagnosis*, 23(11), 909–916. <https://doi.org/10.1002/pd.723>

- van Leeuwen, P., Lange, S., Bettermann, H., Grönemeyer, D., & Hatzmann, W. (1999). Fetal heart rate variability and complexity in the course of pregnancy. *Early Human Development*, 54(3), 259–269. [https://doi.org/10.1016/S0378-3782\(98\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3782(98)00102-9)
- Velayo, C., Calvo, J. R., Sato, N., Kimura, Y., Yaegashi, N., & Nicolaides, K. (2012). Evaluation of cardiac performance by abdominal fetal ECG in twin-to-twin transfusion syndrome. *Prenatal Diagnosis*, 32(11), 1059–1065. <https://doi.org/10.1002/pd.3956>
- Velayo, C. L., Funamoto, K., Silao, J. N. I., Kimura, Y., & Nicolaides, K. (2017). Evaluation of Abdominal Fetal Electrocardiography in Early Intrauterine Growth Restriction. *Frontiers in Physiology*, 8, 437. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00437>
- Verdurmen, K. M. J., Eijsvoogel, N. B., Lempersz, C., Vullings, R., Schroer, C., van Laar, J. O. E. H., & Oei, S. G. (2016). A systematic review of prenatal screening for congenital heart disease by fetal electrocardiography. *International Journal of Gynaecology and Obstetrics: The Official Organ of the International Federation of Gynaecology and Obstetrics*, 135(2), 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2016.05.010>
- Vullings, R., & van Laar, J. O. E. H. (2020). Non-invasive Fetal Electrocardiography for Intrapartum Cardiotocography. *Frontiers in Pediatrics*, 8. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.599049>
- Wacker-Gussmann, A., Plankl, C., Sewald, M., Schneider, K.-T. M., Oberhoffer, R., & Lobmaier, S. M. (2018). Fetal cardiac time intervals in healthy pregnancies - an observational study by fetal ECG (Monica Healthcare System). *Journal of Perinatal Medicine*, 46(6), 587–592. <https://doi.org/10.1515/jpm-2017-0003>
- Wakai, R. T., Lengle, J. M., & Leuthold, A. C. (2000). Transmission of electric and magnetic foetal cardiac signals in a case of ectopia cordis: the dominant role of the vernix caseosa. *Physics in Medicine and Biology*, 45(7), 1989–1995. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/45/7/320>

